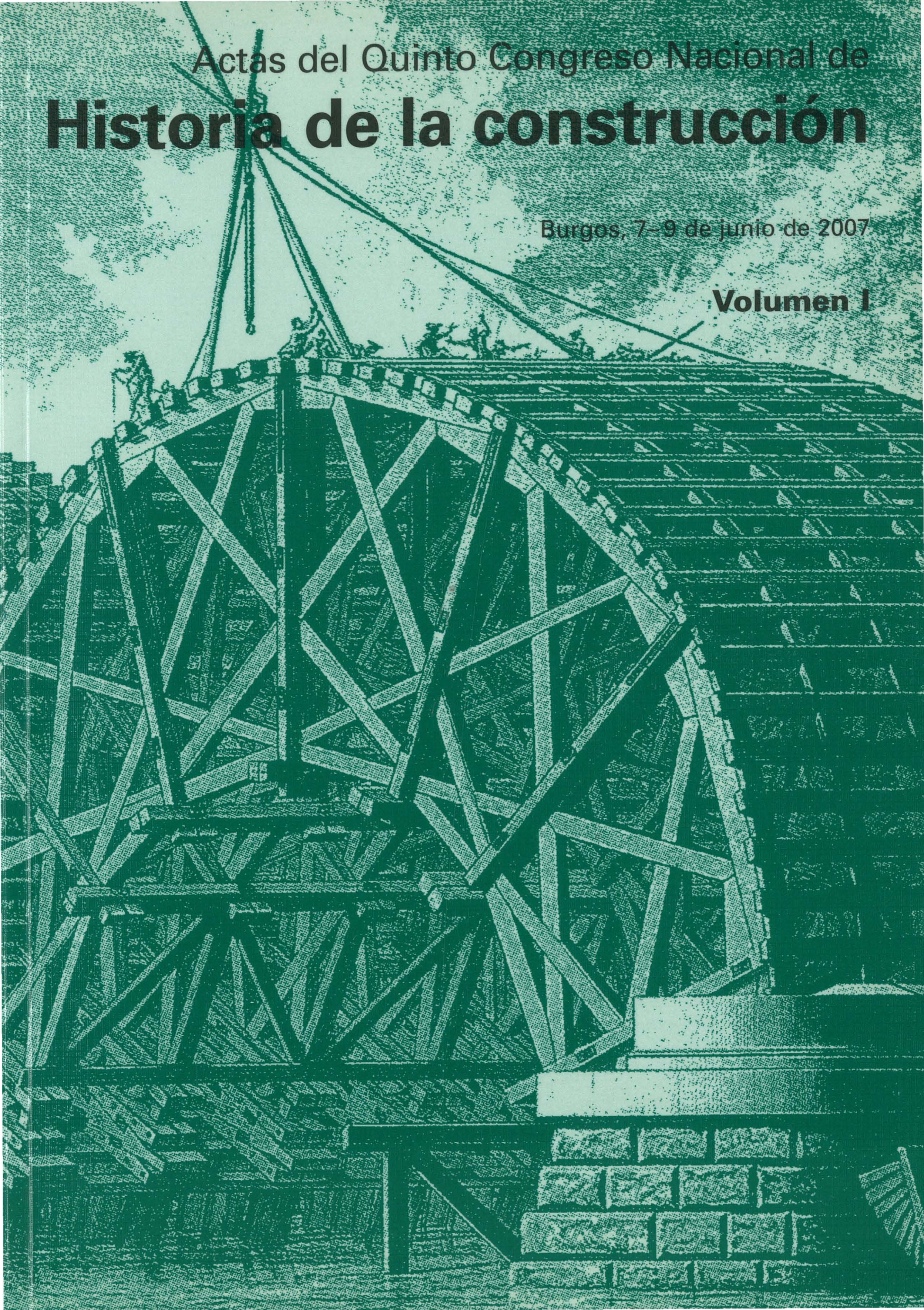


Actas del Quinto Congreso Nacional de

Historia de la construcción

Burgos, 7–9 de junio de 2007

Volumen I

Textos sobre Teoría e Historia de las Construcciones
Colección dirigida por Santiago Huerta

M. Arenillas, C. Segura, F. Bueno, S. Huerta (Eds.). **Actas del Quinto Congreso Nacional de Historia de la Construcción**

F. Bores, J. Fernández Salas, S. Huerta, E. Rabasa (Eds.). **Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción**

A. Casas, S. Huerta, E. Rabasa (Eds.). **Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción**

A. Choisy. **El arte de construir en Roma**

A. Choisy. **El arte de construir en Bizancio**

A. Choisy. **El arte de construir en Egipto**

A. Choisy. **Historia de la arquitectura** (en preparación)

A. Graciani, S. Huerta, E. Rabasa, M. A. Tabales (Eds.). **Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción**

R. Guastavino. **Escritos sobre la construcción cohesiva y su función en la arquitectura**

J. Heyman. **Análisis de estructuras: un estudio histórico**

J. Heyman. **El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica**

J. Heyman. **La ciencia de las estructuras**

J. Heyman. **Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica**

J. Heyman. **Vigas y pórticos**

S. Huerta. **Arcos, bóvedas y cúpulas**

S. Huerta (Ed.). **Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción**

S. Huerta (Ed.). **Las bóvedas de Guastavino en América**

S. Huerta (Ed.). **Essays in the History of the Theory of Structures**

S. Huerta (Ed.). **Proceedings of the First International Congress on Construction History**

J. R. Perronet. **La construcción de puentes en el siglo XVIII**

H. Straub. **Historia de la ingeniería de la construcción** (en preparación)

H. Thunnissen. **Bóvedas: su construcción y empleo en la arquitectura** (en preparación)

A. Truñó. **Construcción de bóvedas tabicadas**

E. Viollet-le-Duc. **La construcción medieval**

Actas del Quinto Congreso Nacional de

Historia de la Construcción

Quinto Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Burgos, 7 – 9 junio 2007

Organizado por:

Sociedad Española de Historia de la Construcción
Colegio Oficial de Ingenieos de Caminos, Canales y Puertos
Universidad de Burgos
Instituto Juan de Herrera. Escuela T. S. de Arquitectura de Madrid
Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo, Cedex

Dirección

Miguel Arenillas Parra y Cristina Segura Graíño

Secretario General

Francisco Bueno Hernández

Comité Organizador

Miguel Arenillas Parra
Francisco Bueno Hernández
Jesús Gadea
Santiago Huerta
Carlos Lavesa Díaz
Javier Muñoz Álvarez
Cristina Segura Graíño
Diego Saldaña Arce
María Tomasa García Martín

Comité Científico

Tomás Abad Balboa
Inmaculada Aguilar Civera
Miguel Arenillas Parra
Ricardo Aroca Hernández-Ros
Francisco Bueno Hernández
Antonio de las Casas Gómez
Fernando Checa Cremades
Rafael Cortés Gimeno
Joaquín Díez-Cascón Sagrado
Manuel Durán Fuentes
José Fernández Salas
Leonardo Fernández Troyano
Amparo Graciani García
Isabel García García
Francisco Javier Girón Sierra
José Luis González Moreno-Navarro
Santiago Huerta Fernández
Gema López Manzanares
Rosario Martínez Vázquez de Parga
Javier Muñoz Álvarez
Pedro Navascués Palacio
Enrique Nuere Matauco
José Carlos Palacios Gonzalo
Enrique Rabasa Díaz
Moisés Rubín de Célix Caballero
Amaya Sáenz Sanz
Fernando Sáenz Ridruejo
Diego Saldaña Arce
Cristina Segura Graiño
Isabel del Val Valdivieso
Fernando Vela Cossío
Luis Villanueva Domínguez

Actas del Quinto Congreso Nacional de

Historia de la Construcción

Burgos, 7 – 9 junio de 2007

edición a cargo de:

Miguel Arenillas

Cristina Segura

Francisco Bueno

Santiago Huerta

Volumen I





Sociedad Española de
Historia de la
Construcción

Instituto
Juan de Herrera
Escuela Técnica Superior
de Arquitectura de Madrid

ISBN: 978-84-9728-242-0 (Obra completa); ISBN: 978-84-9728-243-7 (Vol. I)
 NIPO: 163-07-012-9
ISBN: 978-84-7790-445-8 (Obra completa); ISBN: 978-84-7790-446-5 (Vol. I)
Depósito Legal: M. 25.514-2007
Portada: Construcción del puente de Blackfriars de Londres, G. B. Piranesi 1764.
Fotocomposición e impresión:
EFCA, S. A. Parque Industrial «Las Monjas»
28850 Torrejón de Ardoz (Madrid)

Índice

Comunicaciones

El puerto de Bares

Juan R. Acinas García
Francisco Menéndez Iglesias
Juan M. Fernández Suárez

Pensar en el paso de fenicios por el Norte de Galicia equivale situar a navegantes egipcios en Brasil miles de años A.C. Sin embargo, es habitual que el origen del Coído o Dique Fenicio del Puerto de Bares sea atribuido a esta civilización. Por poner un ejemplo, así se le presenta en el portal turístico oficial de la Xunta de Galicia:

> El «Dique fenicio» constituye un bien patrimonial de gran interés para la arqueología marítima. A pesar de su antigüedad, pues fue construido en el siglo VII antes de Cristo en el puerto de Bares, conserva elementos y dimensiones de una magna obra de ingeniería. (www.turgalicia.es)

El Coído de Bares es una escollera de bolos graníticos redondeados que abriga una playa formada precisamente gracias a su protección frente al oleaje (Coio = canto, en Gallego) (fig. 1). Históricamente, las embarcaciones pesqueras tradicionales han varado en esta playa para sus operaciones de carga, descarga, avituallamiento y reparación, entregadas a la pesca de ballena o, más recientemente, a la sardina.

En Galicia el Coído de Bares no es demasiado conocido ni apreciado. En 2004, en el marco de un trabajo de catalogación del Patrimonio Histórico en Dominio Público Marítimo-Terrestre para la Demarcación de Costas en Galicia, nos llamó poderosamente la atención al Grupo Puertos y Costas la leyenda de su origen y poco interés hacia él de instituciones, investigadores y población en general. Su estado de conservación era bueno para una obra de su supuesta antigüedad, pero sufría importantes agresiones que lo empobrecían como bien patrimonial.

La investigación cuya primera fase de trabajo presentamos, patrocinada por el Centro de Estudios Históricos de la Obra Pública y el Urbanismo, se planteó con una doble intención: aproximarnos al origen del dique y estudiar la recuperación y protección del Coído como bien patrimonial. Para ello, se constituyó un equipo de trabajo compuesto por especialistas en historia, arqueología, geología e ingeniería de costas,

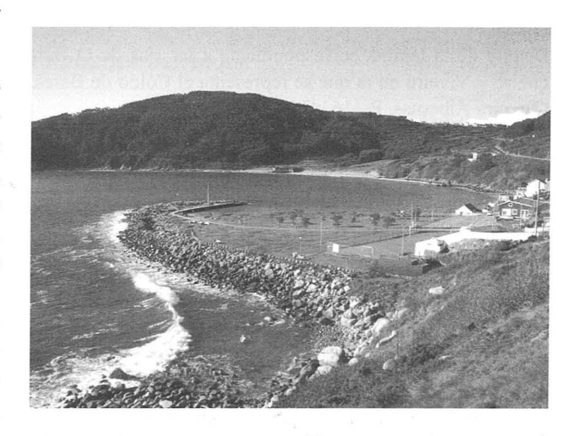


Figura 1
La bahía de Bares, con el Coído en primer término. Al fondo, en el medio de la playa, se encuentra el peñón de Igrexa Vella, donde recientemente se ha excavado una villa romana

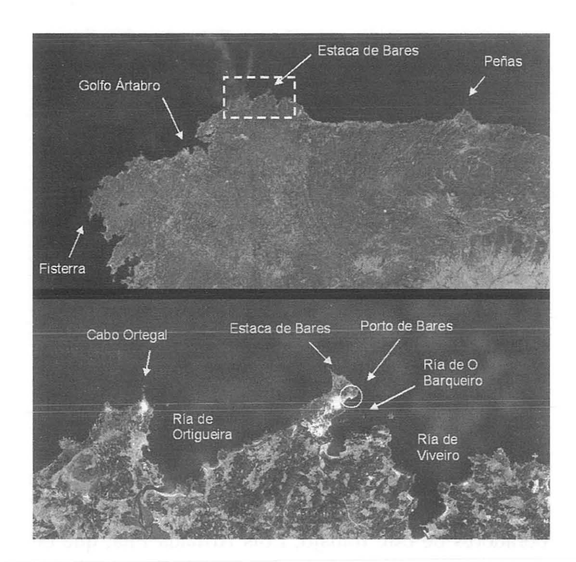


Figura 5
Localización del Puerto de Bares, en el punto más septentrional de la Península Ibérica

oleajes generados en el interior de la ría por vientos de componte sur.

El origen y la permanencia del puerto de Bares a lo largo de la historia se debe, sin duda, a que la península de Bares y la ría de O Barqueiro separan el mar y el litoral Cantábrico del Atlántico, y tienen una posición privilegiada respecto de las grandes rutas de navegación. Además, la situación del puerto en la bocana de la ría es ideal para ser considerado puerto de refugio, ya que proporciona abrigo frente a los temporales atlánticos del cuarto cuadrante, que son los reinantes y dominantes, y evita a la embarcación tener que adentrarse hasta el fondo de la ría para conseguir refugio. Estas características son especialmente valoradas si navegamos impulsados por el viento, o sea hasta prácticamente el primer cuarto del siglo XX. De esta forma, el pequeño puerto de Bares es declarado de refugio en el año 1895.

La abundancia del material de construcción fue clave para su construcción. Los bolos proceden del macizo granítico que forma la Estaca de Bares. Dichos bolos o elementos esferoidales se crean de manera natural en el seno de la masa granítica, y representan el núcleo de una formación más compleja compuesta por sucesivas capas también esferoidales. A lo largo del tiempo, la meteorización diferencial y la erosión hace que estas formaciones aparezcan en la superficie de las laderas, se desprendan de varias capas y por último caigan al mar, formando playas de coídos en ciertos puntos a lo largo de la ribera de la península de Estaca de Bares.

Historia del Coído

Vista la idoneidad del emplazamiento, recorremos la historia del puerto de bares en busca de sus orígenes. Se ha realizado un exhaustivo análisis de todos los elementos arqueológico hallados en la zona, desde lo excavado por Maciñeira en los primeros años del siglo XX hasta los últimos descubrimientos en la villa romana de Igrexa Vella. Con ellos y las fuentes documentales a las que se ha accedido y en el marco del estado del conocimiento actual se ha reconstruido en la medida de lo posible la historia del Puerto de Bares.

En el trabajo han participado dos de los mejores especialistas que hay en Galicia. Por un lado, Jose María Bello (Director del Museo Arqueológico de A Coruña) y Emilio Ramil (arqueólogo que excavó la villa romana de Bares); por otro, Lois Armada, también arqueólogo, autor de los últimos artículos acerca de Bares, y Begoña Roldós, historiadora, bajo la dirección del catedrático de historia antigua de la Universidade da Coruña. Los dos equipos han estudiado la historia antigua del Coído, llegando a conclusiones similares pero divergentes cuando se han tenido que decantar por un origen: medieval o romano, descartando en todo caso la opción prerromana. En cualquier caso los dos plantean la posibilidad, si su origen fuera natural, de un aprovechamiento continuo a lo largo de los tiempos que configurara una acumulación de rocas que ya estuviera allí.

Preshistoria

La comarca de Ortegal, a la que Bares pertenece, es abundante en restos megalíticos. En la propia península de bares hay una apreciable cantidad de túmulos, la mayor parte descubiertos y estudiados por Federico Maciñeira. Son todos ellos túmulos de pequeño tamaño, y pocos activos simultáneamente en algún momento, que testimonian una cierta actividad, que no pudo ser mucho mayor de tres aldeas con unas diez

familias cada una, si atendemos a criterios de productividad del suelo. La disposición de los mismos parece indicar que la articulación social era la correspondiente a economías productoras no intensivas, en las que los intercambios comerciales no iban más allá de los contactos con sus vecinos.

No se aprecia tampoco ningún interés por las zonas costeras en la disposición de los megalitos (fig. 6). Esto concuerda con los datos que se tienen en el contexto del conjunto de Galicia en cuanto a la navegación en la época megalítica. Aunque existen semejanzas en elementos arqueológicos del occidente europeo que sin duda se deben a contactos, en parte por vía marítima, entre las comunidades atlánticas europeas, se trataba de contactos a escala reducida, aunque sostenidos en el tiempo, que no demandaban infraestructuras de las dimensiones del Coído de Bares.

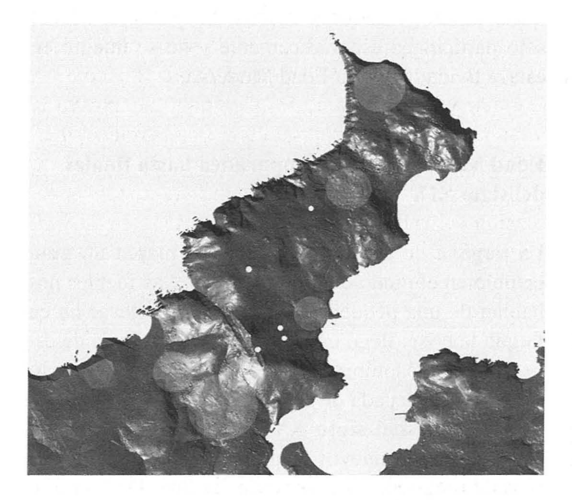


Figura 6
Disposición de los megalitos de la primera fase de ocupación, y zonas aptas para el cultivo de la península de Bares

Fenicios y púnicos

En el bronce final se produce un incremento importante del comercio marítimo atlántico debido al aumento de la productividad. Sin embargo, las características navegación no varían sustancialmente, y sigue sin tener sentido una obra como la de Bares. Por otro lado, en esa misma época comienzan a fundarse colonias fenicias en la costa sur de la Península Ibérica, pero su actividad, aunque influyó en la actividad comercial del norte, no dejó prácticamente vestigios en Galicia. En etapas posteriores de la Edad del Hierro sí hay testimonios de comercio iberopúnico en Asturias, para el que Bares pudo ser un punto de escala.

Sin embargo, el registro arqueológico en Bares para esta época no ha evidenciado resto alguno. Las monedas que Maciñeira identifica como púnicas (cecas de Gadir, Abdera y Sexi) fueron acuñadas ya bajo dominio romano, en los siglos I–II A.C., y su presencia se debe a la amplia circulación que tuvieron, hasta ya entrada nuestra era.

Etapa castreña

Los castros, o poblados indígenas fortificados, de esta zona son en realidad contemporáneos de la romanización. Esto indica un vacío en las señales de actividad humana muy amplio, entre la época megalítica y la castreña. Se encuentran dos castros en los alrededores de Bares, ambos de la tipología de castro costero, emplazados en cabos y con un espacio bien delimitado por sus estructuras de defensa. El de Estaca de Bares, no está ni siquiera reflejado en la literatura, habiendo sido descubierto en época reciente y sin que haya hecho prospección arqueológica alguna. El de Vilela al menos fue inspeccionado por Maciñeira, que relata el hallazgo de un bronce de Augusto.

Se trata de un modo de ocupación costero opuesto al megalítico, de poca importancia relativa en comparación con el resto de la comarca de Ortegal y que desde luego no justifica la construcción por parte de sus habitantes del Coído de Bares.

Roma

La actividad en Bares en época del imperio romano sí fue significativa. Los hallazgos más significativos son la villa romana de Igrexa Vella, en la playa de Bares y descubierta en la década de los 90 del siglo XX. De su importancia da cuenta el mosaico hallado en las excavaciones, excepcional por el aislamiento del asentamiento respecto de la red viaria y las grandes poblaciones. La principal razón de ser de

esta villa debió ser la explotación de las factorías de salazón del puerto de Bares, excavadas a principios del siglo XX y que permanecen ahora bajo tierra sin que se conozca su dimensión real; sin embargo, no es más que la hipótesis más razonable, puesto que no está demostrada su contemporaneidad. Además, se han encontrado muchos más vestigios de la época, entre los que se pueden citar: restos romanos domésticos, varias monedas (siglos II y III D.C.), un asentamiento y posible necrópolis cercana basas de columna sin datar, pero presumiblemente romanas (fig. 7).

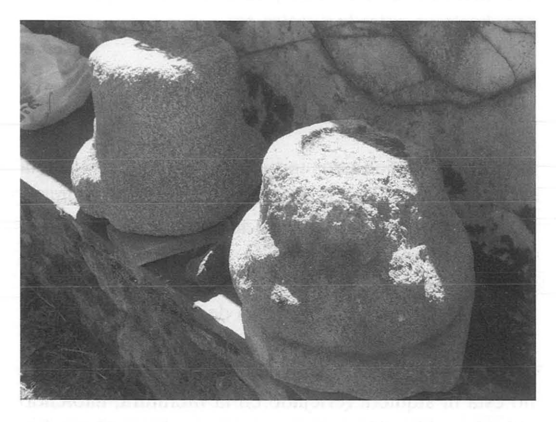


Figura 7
Basas encontradas en el puerto de Bares, que Maciñeira identificó como capiteles púnicos por los relieves que presentan

Podría justificarse la construcción del Coído en la actividad económica relacionada con el mar que tenía lugar en el puerto de Bares, probablemente aprovechando unas buenas condiciones de abrigo existentes y abundancia de material de construcción. Sin embargo, la ausencia total de epigrafía romana, el aislamiento respecto de las vías de comunicación terrestres y la cercanía de un puerto como Brigantium llevan a pensar que Bares era un puerto destinado al tráfico de cabotaje. En conclusión, es tan probable que la construcción del Coído se hubiera producido con la romanización como que solamente se hubieran aprovechado las condiciones de abrigo natural preexistentes para instalar una factoría de salazón similar a otras encontradas en zonas costeras próximas.

Edad Media

De este período provienen las primeras referencias escritas sobre Bares. En el año 916 Ordoño II dona al Obispo de Mondoñedo, Sabarico, la Villa de Bares junto con sus parques de ostras, y también sus dehesas y pesqueras. De todos modos no se menciona al Coído, y aunque Maciñeira sí reseña un documento medieval en el que aparecería explícitamente, nuestra búsqueda del mismo ha sido infructuosa. Por tanto, no podemos asegurar documentalmente la existencia del dique hasta la mencionada representación del Atlas del Rey Planeta de Texeira, en 1634.

De haberse construido en la Edad Media la razón hubiera sido la pesca de la ballena, documentada en Galicia desde el siglo XIII y atestiguada por la multitud de restos de cetáceos que encontró Maciñeira en la playa de Bares. Desde ese momento Bares, dependiente del Obispado de Mondoñedo, sería una pseudofactoría ballenera en la que los trabajadores en realidad serían pescadores vascos. La población local sólo participaba esporádicamente y no se integró en esta actividad hasta la Edad Moderna.

Edad Moderna y Contemporánea hasta finales del siglo XIX

La llegada de la edad moderna no marca un gran cambio en el modo de vida en Bares. Las fuentes nos hablan de una pequeña comunidad sin relevancia en la que la crisis llegó en el siglo XVI en forma de escasez en las capturas de ballena, que nunca se recuperarían. La llegada de emigrantes catalanes en la segunda mitad del siglo XVIII reactiva la actividad económica con nuevos aparejos, artes, barcos y técnicas de salazón y conserva de sardina. De esta última época datan las salazoneras cuyos restos aún se conservan a pie de playa.

Estudio del dique

Evolución del dique en el siglo XX

La descripción detallada de la geometría del dique de Bares a lo largo del tiempo ha permitido estudiar y definir su planta, alzado y perfil desde 1897 hasta la actualidad. El material empleado para desarrollar

esta caracterización se ha basado en la información obtenida in situ, en la geometría del dique definida por los proyectos constructivos y planos levantados por Federico Maciñeira, en las ortofotos de la zona y en la cartografía detallada del puerto. El proyecto de José Real de 1897 es el más antiguo, y sin duda el de mayor calidad, de todos los que se conservan. Describe el dique con detalle de forma gráfica y escrita. El estado y volumen del Coído actual es heredero directo de ese proyecto de recuperación y de otra obra de reparación de 1968.

Los parámetros fundamentales, medidos en agosto de 2006, que definen al dique son los siguientes: (1) longitud total del eje o coronación del dique, proyectada sobre el plano horizontal y medida desde el arranque, 292 m; (2) valor promedio de la cota de cresta a lo largo de su longitud: 6,61 m sobre la BMVE; (3) volumen de escollera por encima del NMM: 20.000 m^3; (4) volumen total de escollera: 70.000 m^3; (5) peso medio de la escollera: 900 kg; (6) peso de los bolos: entre los 6 kg y las 6 toneladas.



Figura 8
Comparativa entre el perfil de 1898 (fucsia) y el medido en campo para este trabajo (blanco)

Para estudiar la evolución del dique se han vuelto a medir los mismos perfiles, transversales y longitudinales, que se definían en los proyectos de 1897 y 1968. La geometría en planta del dique a principios del siglo XX consiste en cuatro alineaciones que giran en sentido horario y en ángulos obtusos hacia el O. La primera alineación parte normal a la costa en dirección N-S con una longitud de 95 metros. Enlaza con el segundo tramo de 80 metros con inclinación SO. La tercera, más inclinada hacia el O, tiene una longitud de 25 metros. La cuarta y última, con dirección E-O y aproximadamente 100 metros hasta el morro.

Desde 1997, a lo largo de 109 años, la cresta ha retrocedido por efecto del oleaje, (fig. 8). En la primera y segunda alineación de las descritas, el retroceso está dentro del mismo orden de magnitud, salvo en el encuentro de ambas, donde es más acusado debido a la mayor pendiente con la que se dotó a esas secciones en 1898–1900. La tercera alineación sufre un retroceso análogo al de la primera y la segunda. La cuarta alineación, correspondiente al morro, tiene su cresta notablemente más adelantada debido a las obras de reparación de 1968.

Acción del mar sobre el dique

Para conocer el comportamiento del Coído y de la playa que se apoya en él se ha determinado el oleaje y las corrientes que llegan hasta la línea de costa. Estos resultados se emplearán en la segunda fase del trabajo para estudiar la estabilidad estructural del dique y el transporte de sedimentos en la playa.

La morfología de la playa de la ensenada de Bares, con su típica línea de orilla espiral, es heredera directa de la acción del oleaje y de la difracción producida por el Coído. Esta difracción genera un abrigo diferencial a lo largo de la playa de modo que la zona más batida es la situada al sur de la ensenada, produciéndose el transporte longitudinal de arena a lo largo de la playa.

El dique, por su parte, soporta la acción directa de los oleajes del primer cuadrante, mientras los del cuarto cuadrante, antes de alcanzar la escollera, sufren una primera difracción en el cabo de Estaca de Bares. De esta forma, la altura de ola que aborda el dique es del orden del 50% de la exterior para el oleaje del Este, y del 10% para oleajes del Noroeste (fig. 9). En la zona situada entre el cabo de Bares y la punta Coído, cercana al arranque del dique, se presentan alturas de ola importantes, con una disminución de éstas hacia la mitad del dique, creciendo de nuevo la altura a medida que nos aproximamos al morro. Este efecto es más acusado en bajamar.

El oleaje máximo frente al dique para el período de retorno de 50 años es del orden de 5,0 m cerca del arranque del dique y en las proximidades del morro, y de 3,8 m en la zona central. Del estudio de los olea-

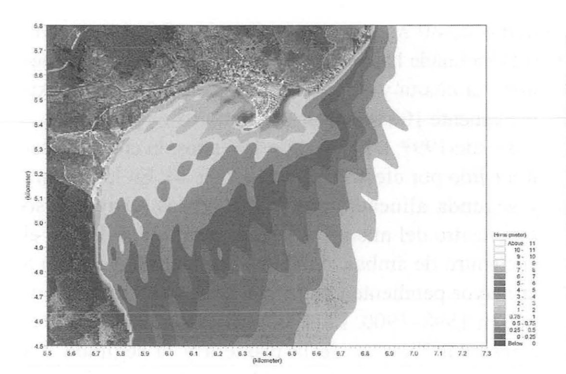


Figura 9
Propagación de oleaje proveniente del Noroeste



Figura 10
EDAR, en primer término, y campo de fútbol, sobre la antigua zona de dunas

jes máximos para diferentes períodos de retorno se deduce que el dique durante los 106 años que han transcurrido desde su reparación ha soportado alturas de ola máximas de 4,5 m, una cada 10 años, y de 5,5 m una cada 100 años. Cuáles son los efectos de este oleaje sobre el dique y cuál es la evolución esperada del mismo son resultados que se definirán en la segunda fase del trabajo.

Evolución del nivel del mar

Suponiendo una construcción de origen romano, y admitido un incremento medio del nivel del mar de 1,5 mm por año, en el siglo XVIII se habría producido una elevación acumulada del nivel del mar de 2,2 metros, lo que puede explicar que el mar rebasara la cota de coronación del dique. Esta coronación, mientras el puerto tiene importancia se va recreciendo y se reparan las zonas dañadas, pero cuando decrece la actividad el dique se abandona. De todos modos es necesario abordar una campaña de sondeos para determinar con precisión la naturaleza y cota de la cimentación del coído.

Agresiones sobre el dique

A partir de los años 1980 los valores singulares del conjunto y en particular del puerto del Coído de Bares atraen a un número creciente de turistas. A lo largo de la ría de O Barqueiro, sobre todo en la ribera este y al fondo de la ría, la construcción desordenada de viviendas en la costa crece también de forma alarmante.

Los visitantes, los coches y caravanas, los residuos y sus consecuencias han invadido por el patrimonio formado por los espacios naturales y las construcciones históricas. Además, las actuaciones sobre el viario, la creación de espacios de aparcamiento y recreo, así como la construcción de alojamientos, servicios, etc. ha sido caótica, sin sentido, de ínfima calidad y en muchas ocasiones totalmente contraproducente. Actuaciones realizadas tanto por las diferentes administraciones con responsabilidad sobre la costa y el puerto como por particulares.

A este respecto cabe destacar como intervención nefasta la construcción sucesiva de un campo de fútbol, viario, aparcamiento, camping, zona de columpios, acceso asfaltado al dique y muelle del puerto y, en 2003, la estación depuradora de aguas residuales, EDAR, con vertido directo al mar (fig. 10). Todo ello construido sobre las dunas de la playa, el dique y el antiguo puerto. Lamentablemente, esta situación descrita para el puerto y playa de Bares se extiende también a otras zonas de la península y de la ría.

El dique en su entorno

Flora y fauna

El estudio la flora y la fauna del entorno del Puerto de Bares se ha realizado con dos intensidades distin-

tas, prestando mayor atención al entorno inmediato del Puerto y caracterizando de modo más general el resto de la parte norte de la península de Bares.

La caracterización general del medio responde a un ecosistema costero, muy condicionado por las duras condiciones climáticas y la intervención del hombre. El ecosistema más valioso importancia ambiental y buen estado de conservación es el correspondiente a los acantilados, que ocupan prácticamente toda la ribera del mar con la única excepción de la playa de Bares. En él nidifican dos especies de cormoranes y otras aves y se refugian tres de quirópteros; seis de esas especies están protegidas por las directivas de hábitats y aves. En cuanto a su flora, están citados varios endemismos de gran importancia. Además, las zonas dunares de la playa de Bares se conservan bastante bien, aunque amenazadas por pistas que las dividen, y existen amplias zonas de matorral que acogen abundantes especies de micromamíferos. La principal amenaza para estos ecosistemas proviene del hombre debido a la proliferación de los cultivos forestales de eucalipto, muy pobres en su biodiversidad.

El entorno inmediato del dique es interesante por albergar en un espacio muy reducido una gran variedad de ecosistemas, como una pequeña zona dunar, acantilado, el propio dique, zona urbana y zona ajardinada. Lo de más valor es la zona de dunas, pequeña y amenazada por la urbanización y la invasión de especies ornamentales.

La zona está protegida por varias figuras ambientales: es Lugar de Importancia Comunitaria perteneciente a la Red Natura 2000, y el entorno inmediato del faro de Estaca de Bares fue declarado en la primera mitad del siglo XX Sitio Natural de Interés Nacional.

Patrimonio construido

En la pequeña zona que es la cabeza de la Península de Estaca de Bares se concentra un importante número de elementos patrimoniales. Más allá de lo arqueológico, encontramos: (1) el Puente Metálico de O Barqueiro, ejemplo de ingeniería civil del año 1901 que cruza el estuario del Sor y está siendo restaurado; (2) la Garita o Atalaya de Bares, perteneciente a la red creada por Carlos III a principios del siglo XIX y heredera de una antigua tradición de señalización marítima por fachos (hogueras); (3) el Semáforo de Bares, edificio para señalización marítima convertido con éxito en un pequeño hotel; (4) el faro de Estaca de Bares, de 1853 y catalogado como de primer orden; (5) varios conjuntos de molinos hidráulicos, extraordinarios por su situación en acantilados casi verticales y en un estado de conservación muy variable (fig. 11); (6) tres molinos de viento, casi en ruinas; (7) una red viaria histórica superpuesta a las actuales carreteras de la que nos quedan las congostras, estrechos caminos de carro en los que el tránsito ha excavado la calzada varios metros respecto al nivel del suelo.



Figura 11
Uno de los conjuntos de molinos hidráulicos, colgados sobre el mar. En primer plano, red de canalizaciones de agua

En conjunto, la situación de estos bienes patrimoniales es buena en el sentido de que la intervención humana y la presión del turismo en la zona no son alarmantes. Sin embargo, tampoco se han realizado esfuerzos reales para su valorización, que sin duda merece la pena.

Socioeconomía

Se ha realizado un estudio socioeconómico que sea útil para las propuestas de actuación con que se culminará la segunda fase del trabajo. El dato más significativo es una reducción de la población hasta menos de la mitad de lo que era en 1960. Además, la

estructura de la población señala a Mañón, al que pertenece Bares, como un extremo en la problemática de envejecimiento que amenaza al rural gallego. No es buena la perspectiva, ni desde el punto de vista demográfico ni desde la actividad económica, siendo más comparable su situación con las zonas deprimidas del interior de Galicia que con las costeras, más dinámicas en la actualidad. Cualquier intervención en la zona deberá tener presente esta situación.

Conclusiones

Había dos objetivos claros a la hora de empezar el trabajo y hemos avanzado hacia ellos en esta primera fase. Con el camino recorrido y las ideas más claras seguiremos trabajando en ellos. Respecto de profundizar en el conocimiento del Coído para aportar un poco de luz sobre su origen y evolución, hemos recopilado y analizado la información histórica y arqueológica disponible, hemos definido geométricamente el propio dique, comparándolo con su situación a principios del siglo XX y se han calculado las acciones que el mar realiza sobre el mismo. Con estos datos, en 2007 podremos establecer hipótesis en la interacción dique-playa-medio y contrastarlas con la realidad. Además, pretendemos estudiar la estratigrafía de la playa con el objetivo de datar las capas de arena que se hayan depositado debido a la formación del dique, con el objetivo de acotar de manera objetiva su construcción. El trabajo se presenta, pues, apasionante.

Por otro lado, nos hemos dado cuenta del gran valor que tiene el Coído por si mismo y por el entorno en el que se integra, y hemos constatado que existen agresiones reales y potenciales que lo amenazan de modo preocupante. Se ha conseguido gracias a la presión ejercida que se prohíba el estacionamiento indiscriminado de caravanas en las dunas, pero es necesaria la elaboración de una propuesta de actuación para el dique y su entorno que no sólo proteja sino que además realce sus valores culturales y naturales y los preserve. A ello también nos dedicaremos en 2007.

Lista de referencias

Alonso Romero, F. 1987. *Sobre los orígenes de los antiguos puertos del Noroeste peninsular*. Lucerna 2.

López Cuevillas, F. 1953. *La Oestrimnida y sus relaciones marítimas*. Cuadernos de Estudios Gallegos VIII (24): 5–44.

Maciñeira y Pardo de Lama, F. 1947. *Bares, Puerto hispánico de la primitiva navegación occidental*. Santiago de Compostela: Instituto de Estudios Gallegos Padre Sarmiento. Fundación Pedro Barrié de la Maza.

Martínez Murguía, M. 1906. *Historia de Galicia*. 2ª edición. Tomo segundo. A Coruña: Librería de Don Eugenio Carré.

Naveiro López, J. L. 1991. *El comercio antiguo en el N.W. peninsular*. Monografías Museu Arqueolóxico e Histórico de A Coruña Nº 5. A Coruña.

Texeira Albernas, P. [1634] 2002. *El atlas del rey planeta*. Editado por F. Pereda y F Marías. Hondarribia: Nerea.

Robert Willis y las bóvedas góticas inglesas: «on the construction of the vaults of the Middle Ages»

Alejandra Albuerne Rodríguez

La figura de Robert Willis

Robert Willis es considerado por muchos críticos como el principal precursor británico del enfoque racionalista en el estudio de la Historia de la Arquitectura. Así lo afirman, entre otros, Banham (1960) y Frankl (1960). A esta corriente se unirían años más tarde Viollet-Le-Duc y su discípulo Choisy, ambos conocedores de la obra de Willis.

La producción literaria de Willis en el campo de la arquitectura se centra casi en su totalidad en construcciones góticas. Son muchos los antecedentes británicos en el estudio del gótico. Willis comienza a desarrollar su obra cuando ya existían numerosos volúmenes sobre antigüedades arquitectónicas, si bien el contenido de las mismas era de corte esencialmente pictórico y formal. No obstante, la obra de Willis no sería la misma sin su existencia. Tampoco sería la misma si no nos encontráramos en pleno florecimiento del Gothic Revival británico. Willis fue capaz de concebir su obra con un fin práctico: se podía aprender de los edificios antiguos aspectos útiles aplicables a la construcción moderna.

Robert Willis y la Ingeniería

Robert Willis era ingeniero de profesión, educado en Gonville and Caius College en la Universidad de Cambridge donde cursó el «Mathematical Tripos». Obtuvo su «Bachelor of Arts» en 1826 como noveno «wrangler», i.e., como noveno de su promoción.

Ya nunca abandonaría Cambridge, donde ejerció profesionalmente. En aquellos años, Cambridge se encontraba en el centro del desarrollo científico británico: allí desarrollaban su investigación, entre otros, Darwin y Faraday. Dicha época fue asimismo testigo de los comienzos de la ingeniería como materia independiente, y Willis fue una figura muy destacada en este proceso.

El ejercicio docente empezó para Willis inmediatamente después de terminar sus estudios de matemáticas: en 1826 le fue concedido el puesto de «Frankland fellow» en su colegio, Gonville & Cauius. En 1837 Willis obtuvo la catédra a la que dedicaría el resto de su vida docente: fue elegido «Jacksoninan Professor» en Filosofía Natural y Experimental, en sucesión a William Farish. Mantuvo esta cátedra hasta poco antes de su muerte en 1875.

La cátedra de Filosofía Natural y Experimental era, pese a su nombre ambiguo, un puesto para la enseñanza de mecánica aplicada. La asignatura que Willis impartía anualmente en la universidad recibía el nombre «sobre Estática, Dinámica y Mecanismos, junto con sus aplicaciones prácticas en los procesos de Manufacturación, Ingeniería y Arquitectura». Fue el primero en impartir clases destinadas específicamente a alumnos cursando estudios sobre ciencias aplicadas y el primer catedrático de Cambridge en obtener una reputación internacional como ingeniero mecánico (Hilken 1967).

Sus principales publicaciones en el campo de la mecánica derivan de sus clases como «Jacksonian Professor», en las que hacía uso de numerosos modelos representativos y educacionales, tal como había hecho su predecesor Farish.[1] Destaca su obra Principles of Mechanism (Willis 1841), publicada en 1841 y reconocida como el tratado más completo sobre mecanismos escrito hasta esa fecha. En la introducción a la obra, Willis destaca que nunca antes se habían intentado descubrir «los principios sobre los cuales se asienta» esta ciencia. El propio Willis nos dice que se preocupaba por los principios que rigen la ciencia, según él mismo nos dice; será esta predisposición a la búsqueda de principios lo que veremos reflejado en sus obras sobre arquitectura.

A partir de 1853 y durante 15 años compaginó este cargo docente con un puesto como profesor de la Government School of Mines en Londres.

Robert Willis y la Arquitectura

La gran pasión de Willis era la arquitectura, y durante toda su vida profesional como ingeniero se dedicó simultáneamente al estudio de la misma. En 1835 Willis entró a formar parte del Royal Institute of British Architects (RIBA) como miembro honorífico,[2] tan solo un año después de la creación de la entidad. En el primer volumen de sus Transactions aparecerán dos obras de Willis, clara demostración de su participación activa en esta entidad.

El ingreso de Willis en el RIBA se produce poco después de la publicación de su primera obra sobre arquitectura: *Remarks on the Architecture of the Middle Ages, Especially in Italy* (Willis 1835). Esta obra se fundamenta en viajes realizados entre 1832 y 1833 por Alemania, Francia e Italia. Trata, por un lado, sobre la definición y el origen del estilo gótico, preocupándose por la aparición del arco apuntado. Se unía así Willis a los numerosos historiadores e investigadores que intentaban por aquellas fechas esclarecer el origen de este arco. Formaba ya parte de este grupo William Whewell,[3] colega y gran amigo de Willis, con quien compartiría durante toda su vida profesional su interés por la arquitectura. Por otro lado, la obra recoge una interesante comparación entre el arte gótico y el clásico, realizando un análisis de la arquitectura del medioevo en Italia.

Willis reconoce tres tipos de edificios, estilísticamente hablando: edificios de estilo puro, edificios de transición, con mezcla de elementos de estilos consecutivos, y edificios de imitación, los cuales son fruto del trabajo de un maestro formado en un estilo queriendo diseñar en otro distinto (Willis 1835, 7–9). El tema de la imitación es un tema que preocupa a Willis y sobre el que volverá en *On the Construction of the Vaults of the Middle Ages* (Willis 1842).

En su definición formal del gótico realiza una distinción entre elementos «mecánicos» o estructurales y elementos «decorativos», pero hace hincapié en que en dicho estilo la separación de ambos no siempre es fácil. En sus propias palabras: «el ojo de un observador sin experiencia al contemplar un edificio magnificente no estará nunca satisfecho a no ser que parezca que las cargas están debidamente soportadas . . . Por lo tanto, en todos los estilos completos, parte de la decoración representa algún tipo de construcción, y cuanto mejor se implemente esto, más satisfactorio será el resultado» (Willis 1835).

Sobre el origen geográfico del gótico no hace afirmaciones precisas (Frankl 1960, 530) pero sí desarrolla un discurso a cerca del origen del arco gótico en el que no coincide con Whewell, quien toma la idea de Essex (Pevsner 1970, 12) de un origen derivado de la necesidad de abovedar espacios rectangulares a una única altura.

Es ésta una obra casi exclusiva dentro de las publicaciones de Willis: no volverá a escribir un tomo en-

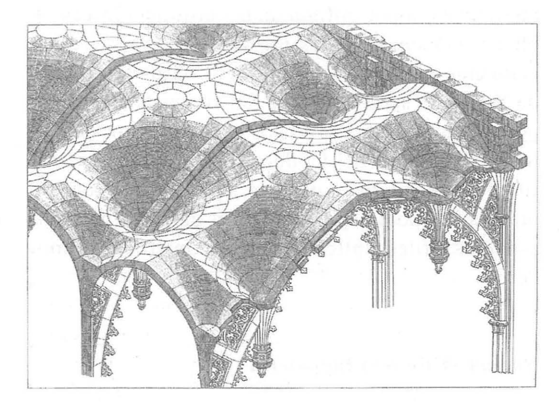


Figura 1
Trasdós de la bóveda de la Capilla de Enrique VII en Westminster (Willis 1842)

tero sobre estilos arquitectónicos, y pasará a centrarse en los aspectos constructivos.

Tardará cinco años en publicar su siguiente obra sobre arquitectura, *On the Construction of the Vaults of the Middle Ages* (Willis 1842), de la que se habla más adelante.

A partir de 1842 la obra arquitectónica de Willis se centra en la realización de estudios de catedrales y otros complejos arquitectónicos góticos, versando sobre su historia arquitectónica. Nos referiremos a este grupo de obras[4] como sus Historias Arquitectónicas, la mayoría de las cuales escribió para ser presentadas en los congresos anuales del Archaeological Institute británico. Estos congresos anuales, que emulaban el pionero Congrès Archèologique de 1834 en Caen (Francia) (Thompson 1996, 157), se realizaban normalmente en ciudades con catedral y Willis aprovechaba para realizar y exponer el estudio de la catedral correspondiente en cada congreso. No obstante, escribió más Histories que las que expuso en los congresos. Algunas de ellas, quedaron inéditas, otras llegaron a publicarse como libros independientes a las actas de los congresos.

En estas obras realiza estudios muy próximos al campo de la arqueología en los que se centra en el análisis del proceso y secuencia constructivo del edificio. Son prueba de su metódica y científica capacidad de observación y análisis. Su sobrino dice de él que «trataba los edificios igual que trataba las máquinas: los desmontaba, separaba lo que era estructural de lo que era decorativo, lo que era imitación de lo que era original, y mostraba cómo las formas más complejas de la invención medieval se podían reducir a elementos simples» (Willis Clark 1906).

El método empleado por Willis en estos estudios consistía en separar las fuentes escritas de las fuentes físicas (los edificios), estudiándolas independientemente para sólo combinarlas al final. Este método analítico ha sido adoptado en muchos casos desde entonces, y en la actualidad sigue vigente. Ésta es, por ejemplo, la filosofía de English Heritage, tal y como apunta Thompson (1996).

Willis era un funcionalista, en cuanto a que interpretaba la arquitectura desde su construcción y su estructura. Pese a esto, Robert Mark (1977) tacha las Historias Arquitectónicas de carentes de sensibilidad estructural, centrándose en los aspectos constructivos sin plantearse a fondo el comportamiento estructural de los edificios.

Cabe también destacar que existe un importante legado de manuscritos, anotaciones y dibujos realizados por Willis en la Cambridge University Library. Este legado, a la muerte de Willis, pasó a manos de su sobrino, John Willis Clark, quien finalmente los donó a la biblioteca de la Universidad donde él también impartía clases.

Además de sus ocupaciones en la universidad y de su trabajo sobre arquitectura, Willis participó en otros organismos, como la Royal Society, siendo elegido miembro de la misma en 1830 gracias a una publicación de 1829 sobre el flujo del aire.

Impartió clases en el Royal Institute en varias ocasiones: en 1831 habló sobre Sonido (ocasión en la que coincidió con Faraday y con John Britton, quien habló sobre Antigüedades Arquitectónicas), y en 1846 y 1847 habló sobre Arquitectura. Participó en la organización de dos exposiciones mundiales: en 1851 fue miembro del jurado de la Gran Exposición de Londres y en 1855 fue vicepresidente de la Exposición de París. Por su trabajo para esta última obtuvo en 1857 la cruz de la «Legion of Honour». En 1862 presidió la British Association for the Advancement of Science.

On the Construction of the Vaults of the Middle Ages

Willis escribió *On the Construction of the Vaults of the Middle Ages* (Willis 1842) para ofrecerlo en conferencia frente al RIBA, del que había sido nombra-

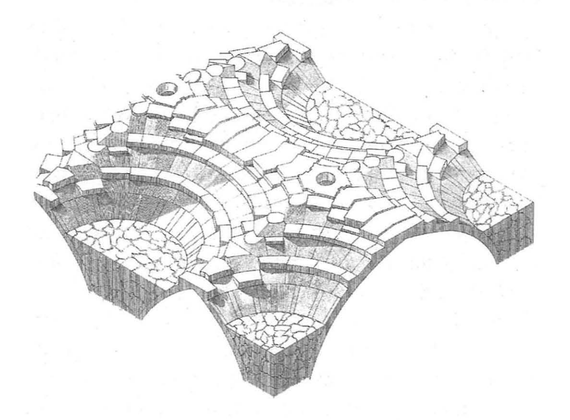


Figura 2
Trasdós de una bóveda de abanico de la Catedral de Peterborough. (Willis 1842)

do miembro honorífico en 1835. El artículo sería publicado en el primer volumen de las Transactions de dicho instituto en el año 1842.

Esta obra tiene un marcado carácter científico, recoge un estudio exhaustivo de un número de bóvedas inglesas para conocer los métodos empleados en el gótico para la proyección y ejecución de bóvedas. El estudio se completa incorporando comparaciones entre los procedimientos que Willis propone como empleados en la época gótica con los procedimientos descritos en los más importantes tratados de estereotomía franceses, todos ellos posteriores a la época gótica. Willis fue, junto con Whewell, uno de los primeros ingenieros que se dedica al estudio de la arquitectura, aportando sus procedimientos científicos a este campo.

La metodología que emplea Willis en esta obra, estudiando las fuentes construidas (los edificios), por un lado y de las fuentes escritas (los tratados de estereotomía), por otro, es el mismo que emplea en sus estudios de historias arquitectónicas de monumentos, arriba descrito.

El propio Willis nos habla en la introducción de la obra del sistema que empleará y del propósito de la misma: «Un tema de investigación que resulta curioso e interesante es rastrear, a través del examen de las propias estructuras, qué métodos geométricos fueron realmente empleados en la proyección del trabajo, y cómo la necesidad de estos métodos aumentó progresivamente» (Willis 1842, 2).

Willis se apoya en la observación de edificios reales que ha tenido oportunidad de visitar y estudiar, fijándose también, especialmente en el caso de edificios en ruinas, en las caras ocultas de las piedras donde se conservan marcas de cantero para la talla de las mismas.

Asimismo, Willis escribe esta obra con una intención práctica: «Independientemente del valor de dichas investigaciones para la historia de la ciencia de la construcción, el conocimiento de los métodos que se empleaban realmente nos beneficiaría en gran manera a la hora de imitar obras de cada periodo» (Willis 1842, 2).

Esto es importante teniendo en cuenta el periodo en el que nos encontramos, en pleno florecimiento del Gothic Revival inglés, y el público al que la obra va dirigida, los arquitectos británicos, como resalta Mary McAuliffe (1999).

Willis se preocupaba por entender la arquitectura desde el punto de vista constructivo, y nos expone sus motivos: «a no ser que entendamos bien estas construcciones, y los métodos y medios que las gobernaron y limitaron, nunca llegaremos a conocer la clave de sus principios, y en vez de diseñar obras en el estilo de una época determinada, deberemos contentarnos simplemente con copiarlos» (Willis 1842, 2). Aquí reaparece su preocupación por la imitación de estilos arquitectónicos que surgía en *Remarks* . . . (Willis 1835).

El carácter científico de esta obra queda patente en el estudio en ella recogido de numerosos casos reales intentando descubrir o verificar los procedimientos empleados en su construcción. Willis lo confirma son sus palabras (cursiva añadida): «Sólo comparando muchos ejemplos se puede hacer esto *(obtener reglas generales)*, pues reglas generales deducidas de ejemplos únicos son, normalmente, inútiles» (Willis 1842, 3).

A continuación se analizan los contenidos de la obra. Todas las referencias entre paréntesis que no indiquen lo contrario, se referirán a la página de *On the Construction* . . . , edición de 1842.

ESTUDIO DE BÓVEDAS Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EN *ON THE CONSTRUCTION* . . .

Willis era de la opinión que «la forma y proporciones de cada estructura son enteramente dependientes de su construcción y se derivan de ella» (2). Se trata esta de una afirmación que el autor intenta justificar a lo largo de la primera sección de la obra, y que hace referencia a las limitaciones formales que un determinado proceso constructivo impone al edificio. Así, por ejemplo, si las piezas empleadas en la plementería de una bóveda son planas y alargadas, el paño de plementería carecerá de doble curvatura (6).

El enjarje

Willis comienza el cuerpo de la obra ofreciendo una descripción cuidadosa de una bóveda de crucería, partiendo del arranque de los arcos, hasta llegar al acabado en el trasdós de la bóveda. Nos explica la constitución del enjarje, de las filas de dovelas inmediatamente superiores, y de la bóveda propiamente dicha, entendida en este caso como nervios y plementería.

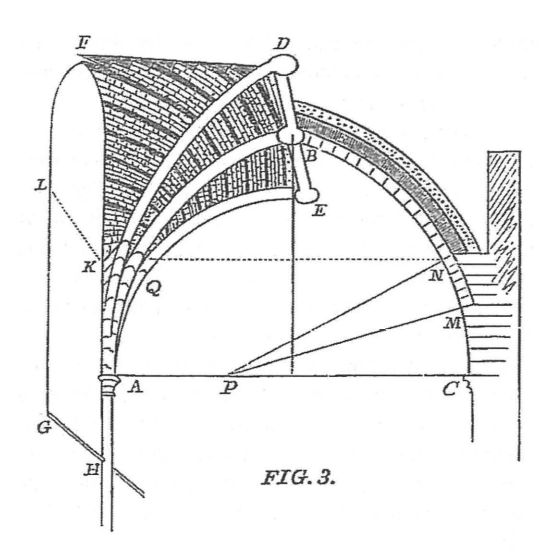


Figura 3
Alzado y sección de una bóveda en la que se muestra el arranque macizo descrito por Willis (Willis 1842)

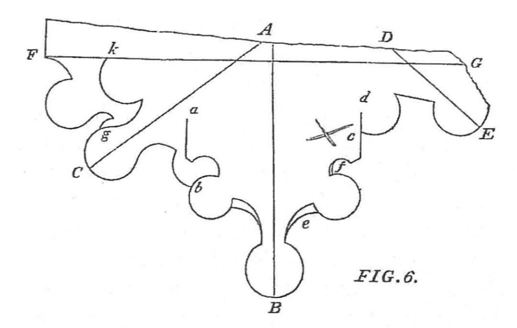


Figura 4
Marcas de cantero halladas por Willis en la cara superior de una pieza de un enjarje entre las ruinas de la iglesia de St. Saviour, Southwark (Willis 1842)

La aparición del enjarje es uno de los avances más relevantes que se originan en el gótico en lo que se refiere a la construcción de bóvedas, como apunta Buchanan (1996), y resulta en un arranque de bóveda macizo, en cuanto a que la pieza es maciza y a que inmediatamente sobre ella el paño de la bóveda está compuesto por piezas que se prolongan por el trasdós de la bóveda hacia el muro o elemento vertical sobre el que apoya la bóveda (fig. 3).

El arranque de bóveda macizo es un aspecto ventajoso para el funcionamiento de la misma, ya que supone una reducción de la luz a salvar. Esta reducción se sitúa en torno a un sexto de la luz total, según estima Willis (9).

Finalmente, Willis describe cómo se remataba el trasdós de las bóvedas. Afirma que comúnmente aparecen cubiertas por una capa gruesa e irregular de escombros, la cual con frecuencia se recubre a su vez con una capa de un material parecido al hormigón (9).

Willis se centra, no obstante, en buscar evidencias que permitan explicar cómo se obtenía el enjarje, y dice haberlas hallado: «si las caras de una estructura que se acaba de desmantelar se examinan retirando cuidadosamente el mortero, las líneas de cantero se hallarán frescas como cuando se marcaron, y de éstas se verá que un método geométrico completo se empleaba para obtener las intersecciones de los moldes» (10) de los distintos nervios que confluyen en el enjarje. Willis acompaña esta explicación con una figura (fig. 4) en la que muestra las líneas encontradas en la cara superior de un enjarje por él examinado entre los restos de la iglesia de St. Saviour en Southwark. Esta evidencia confirma para Willis que la talla del enjarje se llevaba a cabo a partir de la definición de su geometría en cada una de sus caras mediante la proyección geométrica de los moldes de cada nervio en la posición adecuada, empleando plantillas, lo cual permite decidir qué nervaduras serán las prominentes (esto se aprecia claramente en la figura 4).

Para Willis, el hecho de proyectar los perfiles de los nervios sobre las caras del enjarje en su posición correcta implica la necesidad de trazar los distintos nervios a escala 1:1 en su plano correspondiente (11).

Los nervios

Willis se encargaró de acuñar nuevos términos en el lenguaje científico inglés (kinnematics, por ejemplo), y lo mismo consiguió en el lenguaje arquitectónico. Willis rescata términos empleados por Philiber de l'Orme[5] para referirse a los distintos nervios, como croisée d'ogives, tierceron, formeret o lierne. Buchanan (1996) nos dice que estos términos aparecen por primera vez en publicaciones inglesas de la mano de Ware, pero no siempre coincidían con lo que llegaría

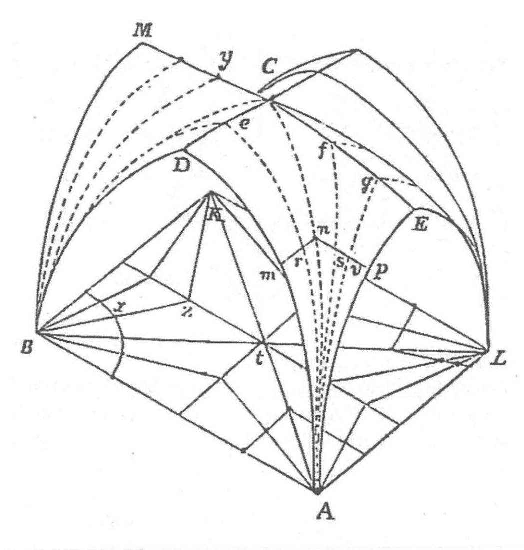


Figura 5
Esquema lineal de una bóveda nervada empleado por Willis para la definición de los distintos nervios (Willis 1842)

a ser, gracias a Willis, su uso convencional en la lengua inglesa.[6]

En los capítulos segundo y tercero de la obra, Willis dedica una delicada atención a la nomenclatura empleada en la descripción de bóvedas nervadas, nueva prueba del carácter científico que imprime a su trabajo. Le interesa desarrollar un lenguaje que le permita expresarse sin dar lugar a ambigüedades y que sea comprensible por todos los que se aproximen a la obra. Consigue esto empleando claras ilustraciones (fig. 5) y defendiendo sus elecciones de términos haciendo uso de la lógica y la herencia cultural e histórica. Así, nos dice que adopta el uso de términos franceses tomados de la obra de Philibert de l'Orme pues gran cantidad de los términos del vocabulario de los constructores medievales que han podido ser rescatados derivan de por sí del francés normando (32).

A Willis le interesa encontrar las normas o prácticas empleadas en el proyecto de bóvedas góticas. Gran parte de su investigación se centra en determinar los razonamientos geométricos que dan lugar a las distintas bóvedas. Plantea un número de procedimientos para obtener la geometría de una bóveda, la cual viene dada por la curvatura de los nervios y la posición de sus centros y claves, insistiendo en todo momento en haber contrastado dichos procedimientos observando ejemplos reales.

En primer lugar, se ocupa de bóvedas cuyos arcos y nervios estén trazados a partir de curvas con un único centro. Comienza por plantear el proyecto de la bóveda partiendo de la posición de las claves de los arcos formeros y diagonales. Una vez decididas estas posiciones, se decidirán los radios de las circunferencias, según se quiera que sus centros estén a la altura del arranque o no.

Otra forma de definir una bóveda consiste en trazar sus arcos diagonales y formeros con las mismas proporciones entre luz y altura. Este procedimiento suele dar lugar a bóvedas con apariencia de cúpula, como es frecuente encontrar en bóvedas medievales italianas, según dice el autor (17).

Por último, en lo que se refiere a bóvedas con nervios definidos por arcos de un único centro, Willis presenta la posibilidad de crear una bóveda con arcos de igual radio, i.e. que el radio del diagonal sea igual al del formero. Existe en este caso cierta flexibilidad geométrica dada por la posición de los centros de los arcos; variando ésta se pueden conseguir muy diversos efectos en la bóveda, desde una bóveda cupulada hasta una bóveda plana.

Willis destaca que en la construcción gótica inglesa la posición de los centros de curvatura de los nervios y arcos no suele situarse a la altura de la imposta o arranque (22). Nos guía en su tratado a través de numerosos ejemplos de geometrías de bóveda distintas, centrándose en aquellas bóvedas en las que rige formalmente la definición de los nervios. Le interesa el tema en cuanto a que lo considera clave para la estética de la bóveda. Trabaja incluso sobre levantamientos de bóvedas a partir de los cuales pueda medir la curvatura real de los arcos y nervios. En este respecto nos dice que la irregularidad del trabajo de construcción y los asientos sufridos por la estructura son tal que no permiten determinar con claridad la forma original de los arcos (30).

Es contrario a la opinión de que los arquitectos góticos se servían del sistema de proyección para el diseño de bóvedas, como habían afirmado en la literatura inglesa William Halfpenny[7] y posteriormente Nicholson[8], quienes se basaron en los progresos experimentados en el campo de la geometría descriptiva, incorporando, por ejemplo, superficies cunicoidales (22).

Las piezas de clave

Al igual que en el caso de los enjarjes, Willis se interesa por la construcción de las piezas de clave de las bóvedas nervadas. Estas piezas en las que confluyen varios nervios con distintas secciones y a distintos ángulos, requieren de nuevo el uso de sistemas geométricos para su obtención.

Willis comienza el capítulo 3 de su obra describiendo un procedimiento geométrico para la obtención de las piezas de clave que parte de la planta de la bóveda y de la curvatura y alzado de los arcos principales a los que pertenece la clave. El proceso consiste en localizar en planta (33) los puntos relevantes para la definición de la pieza, que servirán para dar forma a la cara superior de la pieza, horizontal, a partir de la cual se labrará el resto de la clave.

Willis tiene la picardía de describir el proceso de dos modos. El primero, muy completo, según su entender hace un uso abusivo de la geometría descriptiva, por lo que completa su exposición con una versión simplificada del método, basándose en los mismos principios. Requiere invariablemente el trazado de la planta de la bóveda a escala 1:1, así como el alzado de los principales arcos; no obstante, la forma de las nervaduras secundarias se obtiene «a ojo», mediante prueba y error. (37)

Willis nos transmite su certeza de que el método simplificado era el procedimiento empleado por los canteros góticos para ejecutar estas piezas (35): tal como hizo con los enjarjes, ha examinado numerosos ejemplos de claves sobre los cuales ha comprobado la existencia de marcas de cantero que coinciden con este proceso. Su preocupación por encontrar, no un método de ejecución exacto, sino el verdaderamente empleado, queda patente en esta parte de la obra. No cree que los canteros medievales tuvieran nociones complejas de geometría descriptiva, que de hecho no nacerá hasta el s. XVIII, de la mano de Gaspar Monje.

Las bóvedas de abanico

Willis defiende en esta obra una evolución de la construcción de bóvedas partiendo de un origen rudimentario en el que se levantan nervaduras sobre las que apoyan lajas de plementería cuya función es meramente de relleno de los paños, hasta la construc-

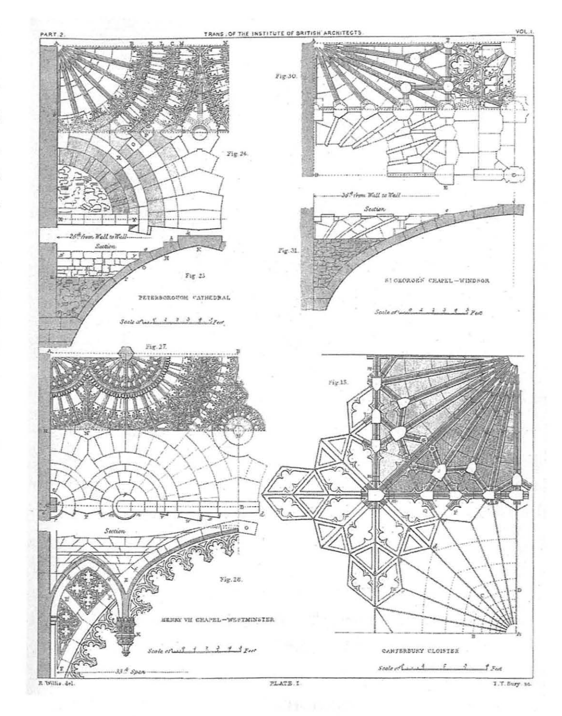


Figura 6
Plantas y sección de varias bóvedas de abanico (Willis 1842)

ción más sofisticada de las bóvedas de abanico en las que no se distingue constructivamente entre nervio y plementería, sino que la bóveda está concebida como una superficie regular de sillería dispuesta en círculos concéntricos —como una cúpula— (44) sobre la que se labran nervaduras decorativas. Willis expone esta teoría tratando los conceptos y procedimientos constructivos; en esta obra no atiende al comportamiento mecánico de las bóvedas, lo que sí hará más adelante Viollet-Le-Duc, estableciendo un paralelismo entre la visión constructiva de Willis y su visión estructural de las bóvedas nervadas sencillas.

Cada uno de los sillares de las bóvedas de abanico, como ocurría con las claves y los enjarjes, presentan superficies de trabajo horizontales necesarias para las labores de cantería en su cara superior. Estas superficies se pueden ver en la sección a través de la bóveda (fig. 6). Willis nos asegura que el método de obtención de estos sillares es el mismo que ya nos ha descrito para la obtención de claves (46).

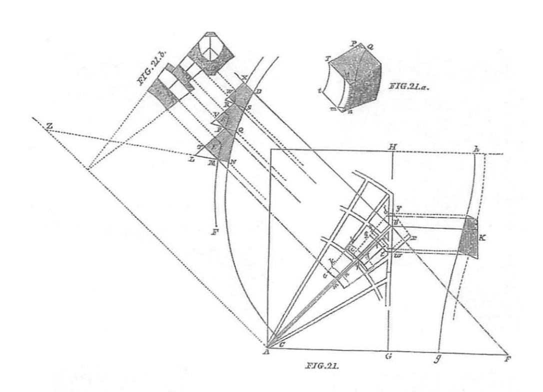


Figura 7
Esquema explicativo del proceso de obtención de las dovelas de las bóvedas de abanico. Corresponde a la bóveda de la Catedral de Peterborough que aparece en la figura 6 (Willis 1842)

Las superficies horizontales, no obstante, aparecen reducidas en superficie como muestra la figura 21 b (fig. 7): el fragmento E se elimina en la mayoría de los casos, como ha podido observar Willis. Cree que esto se hacía tras la obtención del sillar con el fin de aligerar la bóveda (52), y era posible al tratarse de una parte del sillar superflua para la construcción.

Las juntas entre los sillares se disponen siguiendo la orientación de las decoraciones. Por otro lado, las decoraciones, muy ornamentadas en esta época, tienen una gran regularidad en su labra. Esto hace suponer que la cara del intradós de los sillares se labraba lisa, marcando sobre ella únicamente los rasgos principales de la ornamentación, i.e. los nervios y las bandas circulares horizontales, con la intención de situar las juntas. Los detalles de la decoración, no obstante, no se labrarían a partir de una proyección desde la planta, sino que se obtendrían trabajando directamente sobre la superficie de la bóveda, evitando así las distorsiones que se observan en otros tipos de bóvedas góticas.

Willis compara esta construcción que ha abandonado el uso de nervios y paños de plementería y se elabora a partir de una superficie continua de sillares con la construcción de una cúpula: se trata de un sólido de revolución, y como tal está construido mediante hiladas concéntricas con juntas verticales (54).

Willis completa la información a cerca de las bóvedas de abanico incluyendo la cronología de los ejemplos existentes en Inglaterra (fig. 8), los cuales, según nos dice, son los únicos en Europa. Willis nos dice que únicamente ha incluido en la lista aquellas bóvedas que cumplían con la descripción, no sólo formal, sino también constructiva de las bóvedas de abanico, es decir, formadas por nervaduras horizontales.

REPERCUSIONES DE *ON THE CONSTRUCTION OF THE VAULTS*. CONCLUSIONES

Poco después de su publicación en Inglaterra, Cesar Daly, el director de la revista francesa Revue Generale d'Architecture se interesó por *On the Construction . . .* , publicando una traducción al francés en su revista, la cual acompañó con la siguiente introducción:

> El Instituto de Arquitectos Británicos de Londres ha publicado hace poco tiempo la segunda parte del primer volumen de sus *Transactions*. Este volumen, que el Instituto nos ha hecho el honor de enviarnos, contiene muchas memorias muy valiosas, pero a nosotros nos ha sorprendido el hermoso trabajo del Sr. Willis sobre la construcción de bóvedas en la Edad Media. No se ha publicado hasta el momento nada de verdadera importancia sobre el sistema de corte de piedras empleado en aquella época, ni sobre los principios y los procedimientos adoptados en la construcción de esas hermosas bóvedas que contribuyeron enormemente al efecto pintoresco y religioso de las iglesias góticas. El Sr. Willis ha penetrado con profundidad en la cuestión, y eso a lo que él se refiere como un simple esbozo nos ha parecido importante debido a la doble relación entre la arqueología y la práctica moderna de la arquitectura ojival, y por ello no hemos dudado en traducir enteramente la memoria del inglés. (Willis [1842] 1843, introducción de Cesar Daly).

Queda patente con esta introducción el valor concedido a la obra de Willis en el momento de su publicación.

El Royal Institute of British Architects vuelve a publicar *On the construction . . .* (Willis [1842] 1910) en 1910, casi 60 años después de que apareciera en sus Transactions, como un volumen independiente, muestra clara de que la obra de Willis seguía en vigencia.

La repercusión de la obra de Willis ha llegado hasta nuestros días a través de sus métodos de estudio, los cuales, como ya se ha visto, siguen empleándose

Span in Feet	Example		Date	Reference to Engravings
12	Cloisters, Gloucester	(s.)	1381–1412. . .	Britton's Cathedrals
8	Inner Porches, Gloucester.		1420–1437	
7	Vault in All Souls, Oxford. . . .	(s.)	1437–1444. . .	Pugin's Examples
8	Vault in St. John's, Oxford . . .	(p.)	1437–1444. . .	———
10	Beaufort's Chantry, Winchester . .	(s.)	about 1445 . .	Britton's Cathedrals
18	Dean's Chapel, Canterbury . . .	(s.)	1449–1468. . .	———
8	Chapels of Lady Chapel, Gloucester . . .		1457–1472	
8	Stanbury Chapel, Hereford . . .	(s.)	1453–1474. . .	———
12	St. George's Chapel, Windsor, side aisles .	(s.)	after 1475 . . .	Britton's Antiq.
37	Central tower . .	(p.)		
9	Waynflete's Chantry, Winchester . .	(p.)	1486	Britton's Cathedrals
15	Alcock's Chapel, Ely.	(s.)	1488	Bentham or Miller's Ely
11	Islip Chapel, Westminster		about 1500 . .	Neale's Westminster
31	Bath Abbey Church	(p.)	founded 1500 . .	Britton
34	Henry VII. Chapel, Westminster . .	(p.)	founded 1502 . .	Cottingham or Neale
	Chapel in Cirencester Church		1508 (upon the vault)	———
25	Central Tower, Canterbury		1495–1517. . .	———
26	East end of Peterborough Cathedral. .	(p.)	1440–1541. . .	Britton's Cathedrals
14	Audley Chapel, Hereford		1492–1525. . .	———
44	King's College Chapel, Cambridge . .	(p.)	1513	Britton's Antiq.
7	Redmount Chapel, Lynn	(s.)		
18	Hampton Court Gateway	(s.)	after 1520 . . .	Pugin's Specimens
18	St. Laurence Chapel, Evesham . . .	(s.)	1513–1539. . .	Rickman's Gothic Arch.
8	Salisbury Chapel, Christchurch, Hampshire	(p.)	1540	Ferrey's Christchurch
10	Cloister, St. Stephen's, Westminster. .	(s.)	1526–1547. . .	Britton's Houses of Parl.
30	Central Tower, Wells.			
	Staircase, Christ Church, Oxford . . .		1640	Ingram's Memorials

Figura 8
Listado cronológico de las bóvedas de abanico conocidas por Willis (Willis 1842)

en la actualidad. Willis también ha llegado a nuestros días gracias a las impresionantes láminas en las que representa bóvedas en perspectiva isométrica vistas desde el trasdós (figs. 1–2), si bien este aspecto no se ha discutido en el texto por falta de espacio. Estas láminas han sido empleadas por renombrados autores estudiosos del gótico o de la historia de la construcción, como son Choisy (1899), Feilden (1982) o Heyman (1995).

Willis realiza un valioso recorrido por la construcción de bóvedas nervadas. Es una obra sin precedentes en cuanto a que se documenta estudiando las fuentes vivas, los edificios. En última instancia, busca los procedimientos que se empleaban en la construcción de estas bóvedas. Apenas realiza apreciaciones acerca de otros aspectos de los edificios góticos como pueda ser la temática decorativa o el comportamiento estructural. Como ingeniero, cabría esperar que prestara atención a este último tema, pero él mismo nos dice al final de la obra «los límites necesarios de un artículo de este tipo me han impedido introducir varios temas que pudiera parecer que pertenecen a la cuestión tratada. Así es que no he dicho nada respecto a los principios mecánicos, y me he limitado a la forma y la disposición. Pero a mí me parece, examinando los trabajos de los architectos de la Edad Media, que estas últimas consideraciones tenían una influencia infinitamente mayor en sus estructuras que las relaciones de tensiones, en aquel entonces escasamente comprendidas, y sobre las que cometieron errores manifiestos y en ocasiones fatales» (69).

Notas

1. William Farish hacía uso de originales métodos docentes, prueba de lo cual encontramos en la obra de Willis *System of Apparatus for the use of Lecturers and Experimenters in Mechanical Philosophy* (Londres, 1851). En esta publicación Willis relata cómo Farish construía modelos de máquinas en sus clases como método ilustrativo para sus alumnos, para lo cual contaba con un

kit de piezas tipo «lego» que encajaban unas con otras permitiendo ensamblar distintas máquinas. Willis continuó está práctica, perfeccionando el kit de piezas y contribuyó a su difusión por otras instituciones gracias a su publicación.

2. En toda la bibliografía sobre Willis, Pevsner es el primero en hacer mención de este hecho. Ver Pevsner 1970, 2.
3. Whewell había publicado en 1830 una obra sobre arquitectura gótica, *Architectural notes on German Churches* (Whewell 1835), inspirada en un viaje por Normandía y Picardía realizado en 1823 con la intención de estudiar los edificios eclesiásticos de dichas regiones. En la obra explora el origen de la arquitectura gótica, que sitúa en el arco apuntado: no se plantea un empleo del arco apuntado de origen estético sino racional, adoptando la postura de Saunders de que los arcos apuntados se originan por la necesidad de abovedar tramos de distintas luces, es decir, de construir bóvedas rectangulares. Recoge además el libro una comparación entre la arquitectura de la antigüedad y la gótica, recalcando la verticalidad de esta última frente al reposo y la horizontalidad de la primera. Frankl (1960) sitúa a Whewell junto a Willis como precursores del enfoque científico en el estudio de la arquitectura. Whewell fue otra figura clave en la Inglaterra científica del siglo XVIII, llegando a los más altos estratos de la vida académica en Cambridge como Master de Trinity College a partir de 1841 y Vicechancellor de la Universidad, en 1842 y en 1855. Fue, al igual que Willis, unos de los pioneros en la enseñanza de la ingeniería, si bien investigaba sobre gran diversidad de temas entre los que destacan la historia y filosofía de la ciencia, la astronomía o la política.
4. A este conjunto pertenecen entre otras las Historias Arquitectónicas de la Catedral de Canterbury (1844), Winchester (1845), York (1846) o Worcester (1862). Un listado bibliográfico completo se puede encontrar en la tesis de Buchanan (1996). Todas las Historias Arquitectónicas sobre catedrales conocidas disponibles por escrito fueron recopiladas en una obra en dos volúmenes publicada entre 1972 y 1973, en la que se incluyó una nueva edición de *On the construction . . .* (Willis 1842). También pertenece a este conjunto la obra *The Architectural History of the University of Cambridge* (Willis y Clark 1886) que Willis elaboró con la colaboración de su sobrino John Willis Clark, quien la terminó y publicó tras la muerte de su tío.
5. Willis hace referencia a la obra *Inventions pur bien bastir* de Philibert de l'Orme.
6. Willis referencia *Tracts on Vaults and Bridges* de Ware, publicada en 1822, describiéndola como «admirable tratado» sobre bóvedas (Willis 1842, 14). Ya había hecho referencia a este autor en *Remarks . . .* (Willis 1835). No sólo se fija en la terminología que emplea Ware, sino que también toma inspiración de sus ilustraciones y adopta su método de representación lineal de bóvedas nervadas.
7. Halfpenny, W. 1725. *Art of Sound Building*.
8. Nicholson. 1834. *Builder's Director*, new edit, 79.

Lista de referencias

Anónimo. 1872. *A catalogue of the valuable and extensive library of the Rev. Robert Willis*. Londres: Messrs. Hodgson Auction Rooms.

Anónimo. 1875. «Obituary for Robert Willis». En *The Builder*. Londres: 6 de marzo de 1875, Vol. 33, 203.

Banham, Reyner. 1960. *Theory and Design of the First Machine Age*. Cambridge, Massachussets (EEUU): MIT Press.

Buchanan, Alexandrina. 1996. *Robert Willis and the Rise of Architectural History*. Londres: London University Ph.D Thesis number DX205690.

Choisy, Auguste. 1899. *Histoire de l'architecture*. París.

Feilden, Bernard M. 1982. *Conservation of Historic Buildings*. Oxford: Architectural Press.

Frankl, Paul. 1960. *The Gothic. Literary Sources and Interpretations through Eight Centuries*. Princeton: Princeton University Press.

Gillispie, Charles (ed.).1970–1980. *Dictionary of Scientific Biography*. New York: Charles Scribner and Sons, 16 vols.

Heyman, Jacques. 1995. *The Stone Skeleton*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Hilken T. J. N. 1967. *Engineering at Cambridge University*. Cambridge: Cambridge University Press.

Mark, Robert. 1977. «Robert Willis, Viollet-le-Duc and the Structural Approach to Gothic Architecture». En *Architectura, vol. 7.1, 52–64*. Munich, Berlin.

McAuliffe, Mary. 1999. «Characteristic features, decorative construction: Robert Willis's remarks». *Dimensions, vol 13, (122)–129*. Michigan.

Pevsner, Nikolaus. 1970. *Robert Willis*. Northampton, Massachussetts.: Smith College. Conferencia ofrecida en el Smith College el 13 de abril de 1968 como parte de las celebraciones en honor al 65 aniversario de Henry-Russel Hitchcock.

Thompson, M. W. 1996. «Robert Willis and the study of medieval architecture». En *Archaeology of Cathedrals*. Oxford: Oxford University Press.

Willis, Robert. 1835. *Remarks on the Architecture of the Middle Ages, especially of Italy*. Cambridge: Pitt Press.

Willis, Robert. 1842. «On the Construction of the Vaults of the Middle Ages». En *RIBA Transactions*. Londres: Royal Institute of British Architects.

Willis, Robert. [1842] 1843. «On the Construction of the Vaults of the Middle Ages». En *Revue Generale d'Architecture*. París (traducción al francés por Cesar Daly).

Willis, Robert. [1842] 1910. *On the Construction of the Vaults of the Middle Ages*. Londres: Royal Institute of British Architects.

Willis, Robert y Willis Clark, John. [1886] 1988. *The Architectural History of the University of Cambridge and the Colleges of Cambridge and Eaton*. Cambridge: Cambridge University Press.

Willis Clark, John. 1906. «Robert Willis». En *Dictionary of National Biography*. Nueva York: DNB, Vol. 62, 1906.

Sobre la cúpula trasdosada de la Iglesia de Cobos en Segovia

Miguel Ángel Alonso Rodríguez

La iglesia de San Sebastián del pueblo de Cobos en la provincia de Segovia es de tres naves con transepto y tiene el crucero cubierto por una cúpula de sillería trasdosada. Tratándose de una cúpula de sillería trasdosada, sin ningún recubrimiento exterior ni interior, es posible buscar su configuración constructiva. El método consiste en obtener, a partir de un levantamiento riguroso, el despiece del trasdós, del intradós y analizar la relación entre ambos considerando los modos de construir de la época. Este procedimiento de análisis es habitual cuando se trata de bóvedas trasdosadas y sus resultados están contrastados. Parte de la supuesta relación entre forma y construcción que, en el caso de abovedamientos de fábrica con frecuencia es notable. Igualmente supone entender el levantamiento de arquitectura como una forma de conocimiento que busca comprender y documentar el objeto arquitectónico desde las operaciones de medida y análisis.

Respecto a su construcción sabemos que las obras se encargaron, a finales del siglo XVI, a Diego de Matienzo y que a su muerte le sucedió Diego de Sisniega. Matienzo fué uno de los destajeros que participó en la construcción de la cúpula de la Basílica de El Escorial y Sisniega ejecutó las cúpulas de las torres del templo. De este modo, a parte del interés que en sí mismo merece el análisis de una bóveda trasdosada de finales del siglo XVI, esta, en concreto, permite ver la solución constructiva empleada por unos canteros tras intervenir en la construcción de las cúpulas de El Escorial y la vez contemplar la relación que guarda con aquellas. Finalmente este trabajo persigue valorar y de esta forma recuperar un elemento poco conocido de nuestro patrimonio arquitectónico, lo que supone de algún modo intervenir sobre el mismo.

Descripción de la iglesia

La iglesia de Cobos tiene su origen en un templo primitivo erigido bajo la advocación de San Sebastián. A finales del siglo XVI los vecinos decidieron renovarlo. Los trabajos comenzaron por la cabecera y tras edificar la capilla principal el transepto y la sacristía las obras se detuvieron y no volvieron a reanudarse, quedándose sin renovar el cuerpo de las naves.

El cuerpo de las naves consta de tres naves, de tres tramos cada una, con tribuna a los pies, separadas por arcos rebajados sobre delgadas columnas de granito. La cubierta de la nave principal es a dos aguas mediante armadura de parhilera, con cuatro tirantes que se apoyan en canes de rollos, y se extiende en continuidad sobre las naves laterales de manera que en el exterior no se diferencia la nave central de las laterales. Los muros exteriores de las naves son de ladrillo y cajones de mampuesto. A los pies del cuerpo de las naves y ligeramente girada respecto al resto del templo se sitúa la espadaña que aloja las campanas, de sillería irregular y acabada en 1566 según esta grabado en sus piedras.

El exterior del cuerpo de la cabecera es de sillería de caliza con zócalo de granito. La capilla principal

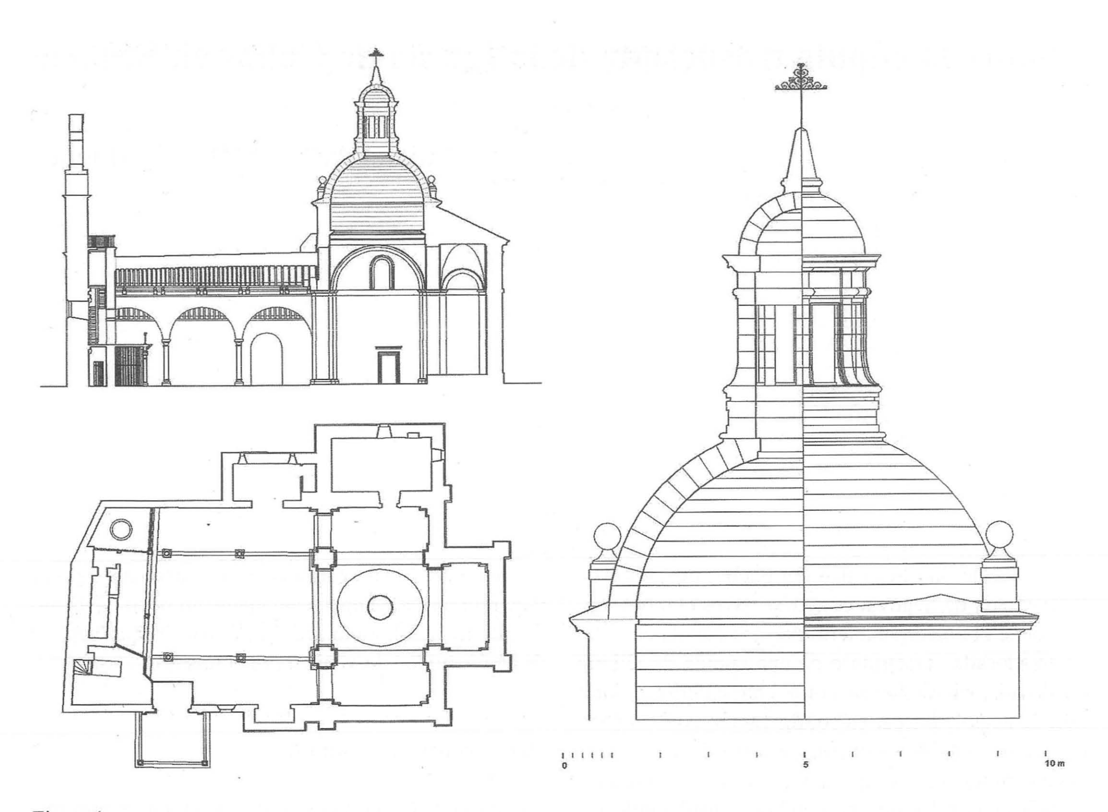


Figura 1

es de planta rectangular, del mismo ancho que la nave central, con pilastras en las esquinas y cubierta con bóveda de cañón, con lunetos apuntados hasta el centro de la bóveda, que arranca sobre la cornisa que recorre el interior de la cabecera. El intradós de la bóveda de la capilla principal tiene un acabado de revoco que oculta su fábrica.

El transepto no sobresale en planta del cuerpo de las naves y, según consta en una inscripción existente en uno de los sillares exteriores, su construcción comenzó en 1587. La nave transepto es cuatro pies mas ancha que la nave central de modo que el crucero no es cuadrado sino rectangular y los arcos torales de la nave principal de la iglesia, que son de menor radio, están peraltados para alcanzar la misma cota en la clave que los otros dos. Los cuatro arcos son de cantería y tienen como acabado interior un revoco que no oculta, y que permite reconocer, las juntas entre sus dovelas.

En los brazos del transepto están construidos los arcos de inicio de las naves laterales, de menor radio y altura que el de la principal y que definen la sección basilical de la iglesia inacabada. Estos arcos apoyan sobre pilastras, unas adosadas a los pilares del crucero y las otras a los muros laterales exteriores. Los brazos del transepto están cubiertos con bóveda de cañón con lunetos apuntados como los de la capilla principal. En los muros testeros y por encima de la cornisa que recorre el interior de la cabecera se abren ventanas de medio punto, descentradas respecto al eje del transepto, pero que estarían en el eje si el transepto tuviera el mismo ancho que la nave principal.

Descripción de la cúpula

Entre los arcos torales se montan las pechinas, con un acabado que no oculta las juntas de sus hiladas de

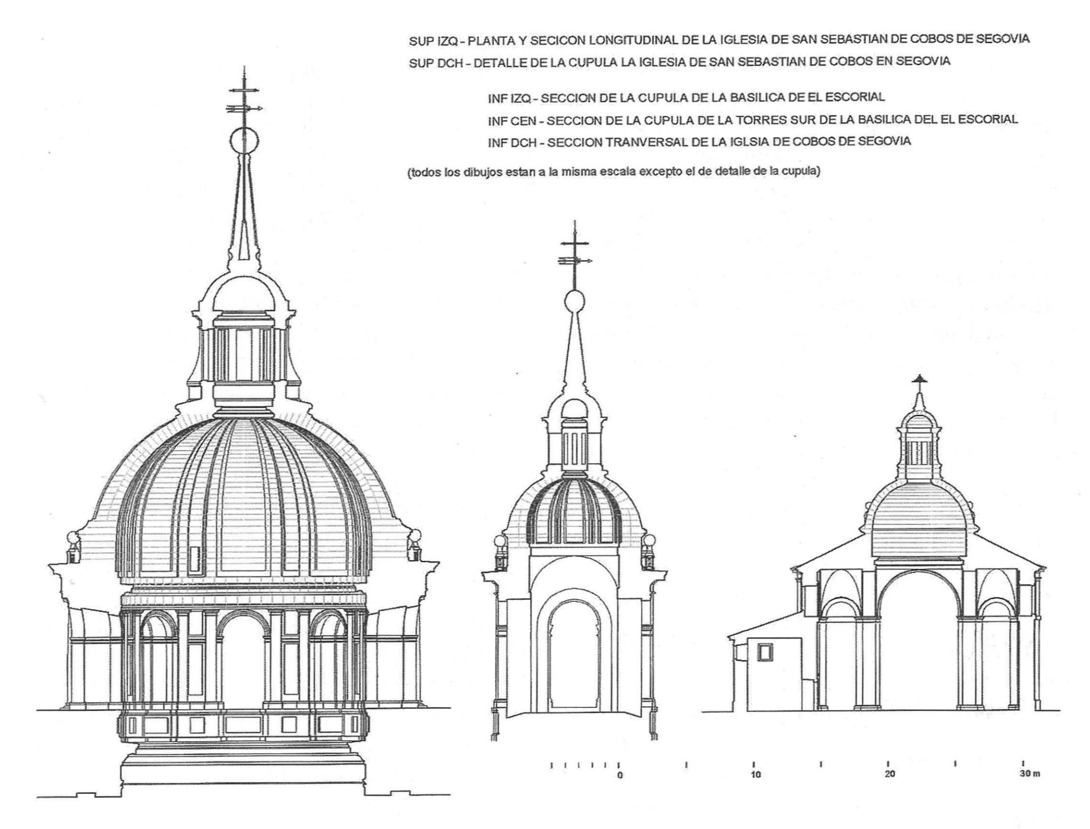


Figura 2

cantería, y se rematan con una cornisa de directriz oval sobre las que se dispone, retranqueado, un tambor cilíndrico, sensiblemente circular, de cantería sin ningún recubrimiento ni decoración, y que no se manifiesta al exterior. Está coronado por una breve imposta sobre la que descansa la cúpula semiesférica trasdosada y sin decoración ni resaltos que cubre el crucero rectangular. La última hilada de la cúpula lleva una sencilla imposta rectangular, ya vertical, sobre la que descansa la linterna, que se compone de un tambor cilíndrico, en el que se abren ocho ventanas adinteladas sin marco ni molduras, rematado con una sencilla imposta rectangular sobre la que asienta el cupulín que cierra la linterna y que no tiene ningún tipo de decoración.

El exterior del cuerpo de la cabecera, formado por los paramentos exteriores del transepto y de la capilla principal, es de sillería de caliza con zócalo de granito y resaltos en las esquinas. Las hiladas de las resaltos presentan una gran regularidad en cuanto a altura y horizontalidad y no tanto las de los paramentos, cuyo acabado es mas tosco, quizás debido a que iban a estar revocados. El conjunto esta recorrido por una imposta, situada a la misma altura que la cornisa interior, sobre la que se abren únicamente las dos ventanas del transepto, que en el interior están descentradas y en el exterior están a eje con los resaltos. Los muros exteriores están rematados por un entablamento toscano que sobresale ligeramente del paramento, dibujando el arquitrabe y el friso separados por el astrágalo, y finalmente la cornisa que resuelve la transición a una cubierta de teja a tres vertientes en la capilla mayor y a un agua con derrames laterales en los brazos del transepto que tendría continuación sobre las naves laterales y que se encuentra interrumpida al no haber sido ejecutadas.

El volumen del crucero aparece en el exterior como un prisma, rematado por una cornisa y con bolas sobre dados en las esquinas, al que acometen, a la misma altura, los brazos del transepto y la capilla mayor, y que sirve de pedestal a la cúpula semiesférica sin decoración que corona la iglesia y que está rematada por la linterna. La linterna tiene ocho ventanas adinteladas situadas entre breves contrafuertes con los zócalos unificados en un tambor cilíndrico que descansa en lo alto de la cúpula. Por encima de las ventanas corre un entablamento en el que se asienta el cupulín liso que cierra la linterna sobre el que descansa un obelisco con pedestal rematado con cruz de hierro.

El transepto sobresale en altura, por encima de la cubierta a dos aguas de las naves de la iglesia, de manera que el arco de inicio de la nave principal, situado en el crucero, queda al exterior y se pueden ver sus molduras, las juntas entre sus dovelas, que arrancan en avance al modo de las jarjas, y el resalto donde debería asentarse la bóveda que cubriría la nave principal. El arco está cegado con un muro, para que no entre agua en el interior de la iglesia. También se verían desde el exterior los arcos de inicio de las naves laterales situados en los brazos del transepto si no estuviesen tapados por sendos muros de ladrillo con vierteaguas En cambio estos muros de ladrillo no ocultan los capiteles de las pilastras laterales sobre las que se montan dichos arcos, y sobre los que se puede ver, del mismo modo, el arranque de los arcos formeros situadas en los muros de cerramiento de las naves.

En el paramento exterior del transepto existen dos volúmenes pétreos, en el arranque de los arcos de la nave principal, rematados a tres aguas, que recuerdan a contrafuertes pero que no cumplen esta misión ya que desde el interior de la iglesia se puede ver que no llegan al suelo y sobresalen en vuelo de los pilares cruciformes del crucero.

Sobre su construcción y autor

Las noticias que han llegado sobre las obras de la cabecera son escasas. Han sido estudiadas y las ha facilitado la profesora Maria Teresa Llorente. Está documentado que en 1591 vecinos de Cobos tomaron un préstamo de 112.000 maravedíes para entregárselo a Diego de Matienzo, «maestro de las obras del rey», para que hiciera buena obra. No obstante, aunque el prestamo se tomo en 1591, las obras, según aparece grabado en uno de los brazos del transepto, comenzaron cuatro años antes, en 1587. En cualquier caso no sabemos quien fue le autor de las trazas ni podemos atribuirselas a Diego de Matienzo, que aparece tan solo como maestro de obras, de quien por otra parte no se conoce que hubiese realizado en su vida profesional traza alguna, pues en los contratos en los que interviene figura, si acaso, como maestro de obras y sabido es que en aquella época los maestros de obras no realizaban las trazas de los edificios aunque si se encargaban de realizar las trazas de cantería.

Diego de Matienzo fallece tres años después, el 14 de marzo de 1594, dejando viuda a Mariana deTolosa hija de Pedro de Tolosa, el aparejador de El Escorial, con quien se había casado cuando trabajaba en las obras del Monasterio. No obstante debemos suponer que llegó a ejecutar la cúpula en función de las cantidades que se le habían abonado y de las que se le adeudaban a su muerte, según la documentación de la época y las Cuentas de la Capilla de Cobos realizadas en 1606, donde se reconocen las deudas existentes con los herederos de Diego de Matienzo por las obras que había realizado como maestro de obras, especificándose que se trataba de las obras de la capilla mayor que el difunto Diego de Matienzo acabó.

Al fallecer Diego de Matienzo las obras se las encargaron a Diego de Sisniega, casado con una hija de Matienzo y Mariana de Tolosa, que ya trabajaba en la iglesia de Cobos, sin que se tengan mas noticias sobre la continuidad de las mismas. Se sabe de la actividad posterior de Diego de Sisniega como maestro de obras pero en ningún caso en relación con la iglesia de Cobos. Todo hace pensar, como dice la tradición en Cobos, que a la muerte de Diego de Matienzo, o muy poco después, las obras de la iglesia se interrumpieron y no volvieron a reanudarse, quedando en la situación que nos ha llegado.

Sabemos que en 1616 tras la visita que hace fray Juan de Benavente, vicario del cercano monasterio de Parraces manda «que la iglesia se trasteje y que se arregle la abertura que esta en el arco que cae a la entrada de la capilla mayor y que se haga este verano antes que vengan las aguas». Se refiere sin duda al arco de inicio de la nave principal, situado en el crucero que queda al exterior.De este modo, debemos atribuir las obras de la cabecera de la Iglesia de Cobos, y la cúpula, a Diego de Matienzo donde también trabaja Diego de Sisniega sin saber quien fue el autor de las trazas.

Memoria del levantamiento

El levantamiento de la cúpula se realizó mediante estación láser radiando puntos desde tres bases, una interior y dos exteriores. Estacionados en el centro del crucero se obtuvieron los perfiles y directrices fundamentales, y se definieron las juntas, llagas y tendeles, del intradós. Situados en la terraza del campanario se definieron los elementos correspondientes del trasdós y casi la mitad de sus juntas, llagas y tendeles. Desde la tercera estación se radiaron puntos diametralmente opuestos a los observados desde la terraza del campanario, y ambas bases se observaron recíprocamente empleando equipo de poligonación para así referir el resultado de las dos observaciones exteriores a un mismo sistema coordenado y definir con precisión la geometría del trasdós de la cúpula.

Aparte de los puntos de la cúpula también se midieron mediante estación los elementos fundamentales de la iglesia, aquellos que se divisaban desde las bases, lo que se realizo con la misma precisión pero de forma no tan exhaustiva pues el objetivo era definir en detalle la cúpula y de manera general el resto de la iglesia. Se completo la tomada de datos instrumental con la correspondiente manual y de detalle, y se hicieron croquis de perfiles y molduras.

Configuración constructiva

A partir de los datos de campo se calcularon, mediante ajuste por mínimos cuadrado, los ejes del exterior e interior de la cúpula, imponiendo la condición de que los puntos de las hiladas definiesen circunferencias. A continuación se relacionaron las dos nubes, haciendo coincidir sus ejes, orientándolas a partir del eje longitudinal de la iglesia y situándolas al mismo nivel empleando las juntas de hiladas que tenían continuación a través de los huecos de las ventanas y que se habían observado previamente.

Una vez obtenida una única nube de puntos, los pertenecientes al intradós y trasdós de la cúpula se giraron entorno al eje hasta situarlos en un mismo plano meridiano, para así obtener la «sección» de la cúpula, figura que engendra el modelo tanto desde un planteamiento formal como constructivo. Tras esta operación la disposición de los puntos era sobre dos arcos de circunferencia concéntricos indicando que se trataba de una bóveda esférica de espesor constante de veintitrés pies de diámetro interior y dos pies de espesor. Vista en planta la nube de puntos resultaba que las llagas del trasdós y del intradós estaban alineadas radialmente y por tanto se trata de una bóveda de una sola hoja y maciza en toda su altura.

En las secciones meridianas tomadas en campo así como en la sección de la cúpula obtenida por giro se comprobó, aparte de la esfericidad y el espesor de la cúpula, que está formada por trece hiladas de modo que las juntas exteriores e interiores de las primeras hiladas están alineadas horizontalmente y que a partir de la tercera hilada la alineación entra juntas es radial hacia el centro de la cúpula. Así pués la tercera hilada tiene su sobrelecho horizontal y el lecho cónico. Desde el exterior no se diferencia de las restantes que tienen todas una altura similar. En cambio en el interior se puede apreciar, si se mira con atención, que las juntas entre hiladas están uniformemente separadas y hay una repentinamente mas baja sin llegar a serlo en exceso y es, precisamente, la tercera hilada que está formada por piezas cuyo ancho no destaca especialmente del de las hiladas restantes aunque tengan menor volumen.

Corresponde todo ello a una disposición constructiva concreta de manera que las primeras hiladas avanzan por vuelos sucesivos, separadas por planos horizontales, y es a partir de una determinada altura cuando la superficie de sus lechos y sobrelechos son conos. Esta disposición constructiva encuentra sus antecedentes en las bóvedas de crucería y en lo que ocurría en los jarjamentos góticos que avanzan por vuelo.

También se ha dicho que algunas referencias a esta geometría se pueden encontrar en los textos de la época. Serlio en el libro V dedicado a los templos pone varias construcciones de planta central, de diseño propio, cubiertos con cúpulas que al exterior presentan en su arranque un escalonamiento que remite a un sistema de hiladas horizontales. Palladio en la reconstrucción gráfica que realiza del templo de Vesta en Tivoli, de planta circular, lo remata con una cúpula que al exterior arranca escalonada. No obstante, los antecedentes mas ciertos de la cúpula de Cobos debemos situarlos en la del crucero y en las de las torres de la basílica de El Escorial que habían ejecutado Matienzo y Sisniega.

Al poner en paralelo las secciones de las tres cúpulas contrasta por su tamaño la gran cúpula escurialense frente a las otras dos. La disposición constructiva es la misma en el sentido de que las tres arrancan

con hiladas horizontales para seguir con lechos cónicos. Una primera diferencia la encontramos en que en las cúpulas de El Escorial la hilada del cambio se manifiesta en el exterior, por una mayor altura, mientras que en la de Cobos se aprecia desde el interior y su altura es menor que las de las restantes hiladas. Una hilada similar, que en el interior contrasta por su menor altura respecto a las restantes se encuentra en la cúpula que cubre el crucero de la Capilla Cerralbo en Ciudad Rodrigo proyectada por Juan de Valencia, colaborador de Juan Bautista de Toledo. La diferencia mas importante sería que en el Escorial las cúpulas son de sección variable disminuyendo con la altura y la de Cobos es de sección constante. Asi mismo las de El Escorial tienen nervios y resaltos y no la de Cobos.

Es, por otra parte, significativa la diferencia de espesores existentes entre las cúpulas de las torres de El Escorial y la del crucero de la iglesia de Cobos. En efecto la cúpula de la Iglesia de Cobos, y las de las torre de la basílica de El Escorial tienen un diámetro interior muy similar y en cambio el espesor en el arranque se diferencia en tres pies. Sin duda el volumen exterior de las cúpulas de las torres de El Escorial responde a un requerimiento compositivo al tratarse de cúpulas que se contemplan a gran altura, pero no explica el grosor de las mismas.

Ambas cúpulas se construyeron con una diferencia de veinte años, y la diferencia de espesores de sus cascos permite pensar en una evolución en la técnica constructiva que para entonces no requiere resaltos ni nervios y que permiten disminuir sus secciones.

Lista de referencias

Los datos documentales citados han sido facilitados María Teresa Llorente Fernández, licenciada en Geografía e Historia, profesora de Instituto en Segovia, y vecina de Cobos. Sobre la configuración constructiva de las citadas cúpulas de El Escorial se puede consultar:

Alonso Rodríguez, Miguel Angel. 2001. *Levantamiento de la cúpula del Monasterio de San Lorenzo de El Escorial.* Madrid: este trabajo ha sido realizado y presentado como PFC de los estudios de Ingeniero Técnico en Topografía realizados por su autor. Sin publicar. Se puede consultar en la biblioteca de la ETS de Ingenieros en Topografía Geodesia y Cartografía de la UP de Madrid.

Alonso, Miguel y López, Ana. 2002. «Levantamiento de la cúpula de la Iglesia del Monasterio de San Lorenzo de El Escorial». *Actas del IX Congreso Internacional de Expresión Grafica Arquitectónica,* 277–283. A Coruña.

Alonso Rodríguez, Miguel Angel. 2002. «Sobre las cúpulas de las torres de la basílica del Escorial». En *El Monasterio del Escorial y la Arquitectura. Actas del Simposium,* 487–500. San Lorenzo del Escorial.

López Mozo, Ana. 2002. «Las cúpulas de las torres de la iglesia del Monasterio del Escorial». *El Monasterio del Escorial y la Arquitectura. Actas del Simposium,* 501–519. San Lorenzo del Escorial.

El Donativo Cebrián. Origen de la divulgación de las tipologías constructivas en el primer tercio del siglo XX en España

Jesús Anaya Díaz

La implantación de nuevas tecnologías y materiales de construcción en el comienzo del siglo XX, será contemporánea también con las exigencias de aplicación de nuevos programas y la necesidad de desarrollar tipos de construcciones en altura, grandes luces y tamaños, características tipológicas no experimentadas hasta ese momento en el ámbito de la arquitectura. Los arquitectos se verán obligados a afrontar la resolución de tales retos, con nuevos conocimientos científicos y técnicos que se desarrollarán paralelamente a la evolución de las nuevas técnicas constructivas.

En España el conjunto documental y bibliográfico del Donativo Cebrián representa la fuente documental básica para la investigación y desarrollo sobre las nuevas ideas de la construcción de la arquitectura.

El Donativo Cebrián está formado por un conjunto de volúmenes, textos originales sobre diversas materias, y publicaciones periódicas que Juan Cebrián donará a la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid desde 1903 hasta 1932, año de su muerte, representando un compendio del conocimiento técnico é intelectual más elevado y escogido, así como de los temas más actualizados de arquitectura é ingeniería de esos años

El Donativo Cebrián constituye el fundamento de la base documental para la investigación sobre la interpretación de la aplicación de los nuevos sistemas estructurales y constructivos en la producción de la arquitectura española del primer tercio del siglo XX, que permita elaborar un conjunto de conclusiones clarificadoras sobre la evolución de la construcción de la arquitectura, identificando al tiempo las transformaciones que las nuevos materiales y las técnicas nuevas de aplicación aportaron al desarrollo y divulgación de las tipologías de la arquitectura moderna.

Esta ponencia aborda el estudio analítico del conjunto documental que sirvió de base técnica y científica a los arquitectos de principios del siglo, que acometieron el profundo cambio de las bases de producción de la arquitectura, incorporando con el uso de un amplio catálogo de soluciones técnicas, nuevas caracterizaciones espaciales, que identificarán y significarán a tales estructuras como condiciones básicas y principio generador de la forma arquitectónica moderna.

En el Donativo Cebrián, se pueden consultar más de 1900 volúmenes actualmente, así como una veintena de colecciones de revistas norteamericanas y europeas, entre los que se encuentran un gran número de tratados sobre estructuras, carpintería y cerrajería de acero, tratados sobre hormigón armado, diccionarios técnicos, etc., en la investigación para establecer el estado del conocimiento técnico del último tercio del siglo XIX y el primero del XX en España, Europa y Norteamérica. Y de otra parte documentar toda la arquitectura y construcciones civiles tanto españolas europeas y americanas que se conocerán en España en esos años a través del Donativo Cebrián, y que constituirán la base documental y arquitectónica con que contarán los arquitectos españoles desde principio de siglo XX.[1]

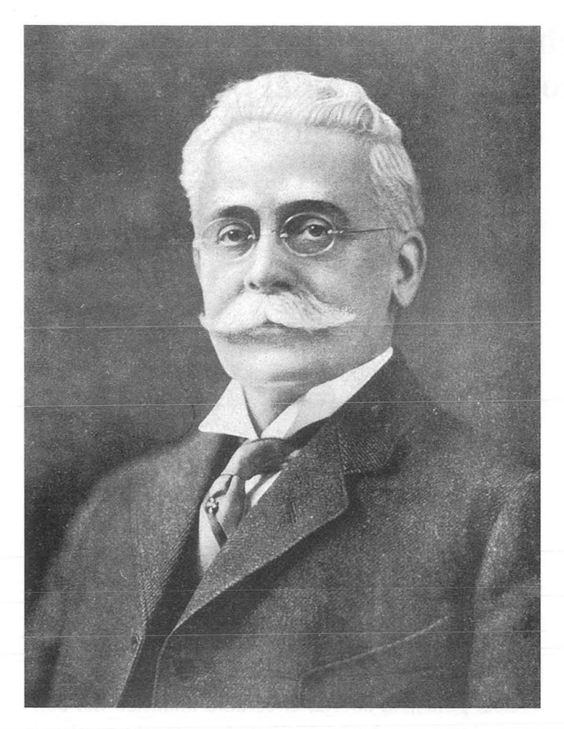


Figura 1
Retrato de Juan C. Cebrián incluido en la contraportada del Catálogo del Donativo Cebrián (Ariño 1917)

Juan C. Cebrián nace en Madrid en 1849, ingresó en la Academia de Ingenieros militares en 1863 y terminó sus estudios en 1868, siendo promovido a teniente de dicho cuerpo (fig. 1). En 1869 solicitó y obtuvo la licencia absoluta al mismo tiempo que su compañero de academia, Eusebio Moleda, saliendo juntos de España para Nueva York. En 1870 se trasladará a San Francisco, California, donde se empleará como ingeniero de la Dirección de Faros de la Costa del Pacífico. Desde 1871 a 1873 Cebrián estuvo encargado por la Compañía del Ferrocarril Transcontinental del Norte del Pacífico (Northern Pacific Railroad Co.) del trazado de su extremo occidental desde las Montañas Rocosas hasta Portland y Seattle.

A partir de 1888 dirigirá importantes empresas industriales estableciendo su propio despacho de ingeniería. Al visitar la Escuela de Arquitectura de Madrid, en uno de sus viajes a España en 1903, pudo apreciar el estado depauperado de la biblioteca de la escuela que entonces constaba de 8.000 volúmenes. Muchos de los cuales eran ajenos a los temas de arquitectura, ingeniería o conocimientos técnicos, como dejará constancia Ricardo Velázquez Bosco, entonces director de la escuela de arquitectura, en el proemio que realiza al primer catálogo del Donativo Cebrián en 1917.

Juan Cebrián, para remediar tal situación, autorizó al director de la escuela y a los profesores, para que por su cuenta pidieran las obras que «juzgaran necesarias», ordenando a los principales libreros y editores de Europa que remitieran a la escuela cuantas obras se publicaran, tuvieran relación con la arquitectura y que por su mérito debieran figurar en la biblioteca.

Comenzó la protección de Cebrián por costear las suscripciones a las principales revistas de arquitectura que se publican en el extranjero y por dar orden a los libreros H. Hierssemann de Leipzig, Rapilly de París, Otto Lange de Florencia y otros de que enviasen cuantos libros de la especialidad se publican en Europa. Juan Cebrián comienza enviando de su propia biblioteca 700 volúmenes en un primer envío y 500 en el segundo. Será significativa en este sentido la serie de volúmenes que aparecerán con el sello y «ex libris» «J.C. Cebrián. 1801 Octavia Street. San Francisco. California», que documentará el interés de Cebrián por reforzar las bases técnicas del conocimiento de los arquitectos, enviando volúmenes dedicados a la divulgación y edición de las últimas aplicaciones de las técnicas más avanzadas de ese momento.

La Biblioteca de la Escuela de Arquitectura se había formado con la herencia de algunos textos de la Academia de San Fernando, recibiendo después el ingreso más importante, los volúmenes de la librería del arquitecto Pedro Camporredondo adquirida por el Ministerio de Fomento en 1878. La importancia de la Biblioteca en el siglo XIX fue muy escasa, su caudal bibliográfico reducido, y en gran parte anticuado, como señala Fernando Ariño, bibliotecario que a partir de 1917 realizará el primer catálogo del legado Cebrián costeado por el propio Juan Cebrián (Ariño 1917). La Biblioteca no tenía catálogo ni organización de ninguna especie, y como describirá Ariño solo algunos alumnos eran lectores de la Biblioteca y se limitaban «a consultar las obras de texto y otras usuales, cuyos títulos se transmitían por tradición de unos a otros» (Ariño 1917)

Mariano Barroso, bibliotecario, será el encargado de realizar un catálogo desde 1900 a 1911, que publi-

có en 1909, y en el que constaba que poseía la biblioteca 8.000 volúmenes, la mayor parte antiguos y de escaso valor.

Es significativo que entre las obras que se reseñan de cierta validez en el catálogo se encuentran las de Vitrubio ([27 a.C.] 1787), Canina (1844), Viollet-Le-Duc (1863a), Perrot (1882–1914), Chipiez (1876), Daly (1870, v3) y Planat (1890–1902, 7v) entre otras, obras de orientación para la formación generalista de los aspirantes a arquitectos y de indudable significación histórica, pero que manifestarán la dispersión de contenidos, la falta de actualización de las bibliografías de referencia, así como la exigua existencia de obras de contenidos técnicos, científicos y de crítica proyectual, que había constituido la base formativa de los arquitectos españoles de finales del siglo XIX.[2]

Una revisión del catálogo general que reseña Barroso, nos permite reconocer prácticamente las bases técnicas y científicas de aquellos arquitectos. De los textos de autor extranjero destaca el de Paul Planat (1890), profesor de L'Ecole de Beaux Arts de París, qué redactará un texto, *Cours de Constructions Civiles* (Planat 1905) cuya fundamentación técnica asistirá los cursos de arquitectura de aquella escuela.

Planat destacará como editor de una de las revistas con más predicamento de los últimos años de siglo XIX en Francia, qué se recibirá también en la escuela de arquitectura de Madrid, *La Construction Moderne,* reflejará en síntesis los conocimientos técnicos contemporáneos sin un interés específico en las nuevas técnicas y materiales modernos como protagonistas de cambios en la concepción tipológica y arquitectónica, sino más bien, interesándose en el valor de la modernidad de ciertas obras, entendidas como interpretaciones nuevas y originales por la aplicación y actualización de nuevas técnicas sobre obras de concepción tradicional (Planat 1900).

Los sistemas de cálculo, y los criterios de construcción de los esqueletos en el primer decenio del siglo XX en España, se van a regular a partir de los criterios derivados de las normativas francesas de la Ecole Supérieur Ingénieur des Ponts et Chaussées de París cuyos desarrollos constructivos publicará la Enciclopedia de L. A. Barré (1899), (fig. 2) de amplia difusión entre los arquitectos españoles, junto a manuales como los ábacos de la Sociedad de Material para Ferrocarriles y Construcciones de Barcelona debido a la influencia que los puentes de ferrocarril (Ribera 1897a) tendrán en la ejecución de las estructuras metálicas de las edificaciones, y cuya adecuación de las fórmulas de cálculo publicará el ingeniero de caminos J. E. Ribera (Ribera 1895. 2v, Ribera 1897b)

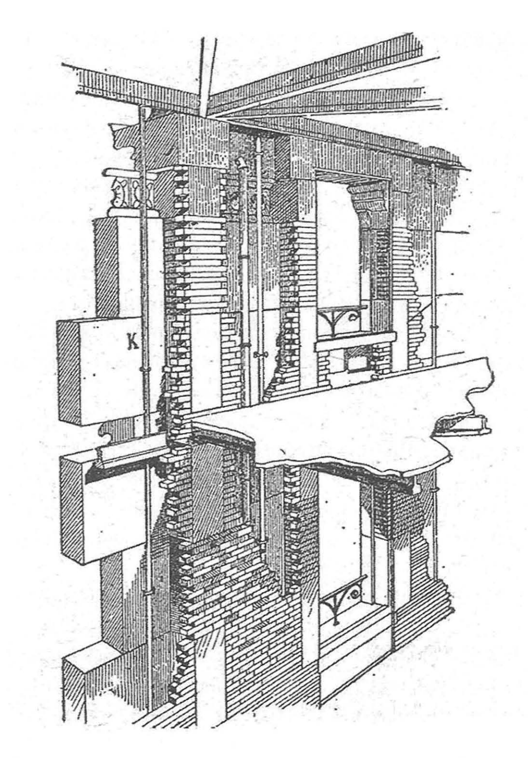


Figura 2
Perspectiva de una sección constructiva de muro de fábrica, con instalaciones alojadas en los conductos interiores del muro. (Barré 1899, vol 3)

Desde el punto de vista de las bases de conocimiento sobre cálculo y teoría de estructuras la bibliografía acusa la antigua biblioteca, una extraordinaria escasez de textos, significándose como uno de los más utilizados la mecánica aplicada de Bresse (1859) fundamentalmente por el uso que llevarán a cabo los arquitectos de las fórmulas de Bresse para el predimensionado con ábacos, de perfiles metálicos en fundición y acero

Otro de los escasos textos sobre teoría de estructuras que se encontrará en los estantes de la biblioteca en los primeros años del siglo XX será el de Castigliano (1879) texto básico que se significará como necesaria obra de referencia, reseñada por Félix Car-

dellach profesor de la escuela de Arquitectura y de Ingenieros Industriales de Barcelona, en su *Filosofía de las Estructuras* (Cardellách 1910) un compendio de criterios y reseña de los métodos de cálculo de estructuras en España en los últimos años del siglo XIX y primeros del XX, que se adquirirá con el Donativo Cebrián y cuyo valor subrayarán, arquitectos tan significados en el uso de las nuevas técnicas como serán, Juan Torras con estructuras metálicas y Teodoro Anasagasti con hormigón armado.

El donativo Cebrián se cataloga en 1917 por Fernando Ariño y asciende a 2619 volúmenes (Debe tenerse en cuenta la estimable pérdida de volúmenes en el traslado de la biblioteca en la guerra civil española), más 400 revistas que forman una selecta colección de obras modernas, conteniendo un gran número de volúmenes con los conocimientos técnicos y científicos más avanzados de la época, tanto americanos como europeos.

Es muy significativo que el número de disciplinas y áreas de conocimiento que tienen representación en el legado será muy amplio: Filosofía, Sociología, Filología, Ciencias, Ciencias Aplicadas, Bellas Artes, Literatura, Geografía é Historia, además de obras generales sobre la Arquitectura y las Bellas Artes de todos los tiempos. Pero hay que hacer constar el valor fundamental de las publicaciones técnicas sobre construcción, ingeniería, nuevos materiales, como el hormigón armado, los sistemas de estructuras, el conocimiento científico del cálculo, y en general las materias técnicas avanzadas de aplicación para la Ingeniería y la Arquitectura.

La significación del legado Cebrián puede interpretarse a partir de la estadística de lectores de la Biblioteca de la Escuela de Arquitectura de Madrid, que realiza Fernando Ariño. De 1901 a 1911, fecha en la que se publica el primer catálogo de Barroso, se duplica el número de lectores, llegando a triplicarse al año siguiente 1910, el número de 3500 lectores, los 1751 de 1901.

La divulgación por lo tanto, y el acceso al legado Cebrián, supone una fuente de información y conocimiento para los arquitectos españoles del primer tercio del siglo XX de ineludible importancia.

Hay que señalar también que Juan Cebrián, no solamente realizará un legado a la Escuela de Arquitectura, sino que también lo hará a la Academia de Bellas Artes de San Fernando, así como a la Academia del Cuerpo de Ingenieros del Ejército.

Entre las publicaciones periódicas a las que se suscribirá la Escuela de Arquitectura por mandato de Juan Cebrián, es importante resaltar *Le Béton Armé*, órgano de los concesionarios y agentes del sistema Hennebique, cuya consulta puede realizarse desde Marzo de 1899 a Febrero de 1907 en la biblioteca. *Concrete and Cement-age,* el órgano editor de la Portland Cement de Detroit, una de las empresas más importantes manufactureras de hormigón en Estados Unidos y cuyos volúmenes pueden consultarse desde Julio de 1912 hasta Diciembre de 1915, fecha en la que esta publicación cambiará su nombre por el de *Concrete.* La revista se recibirá en la Escuela de Madrid hasta Diciembre de 1935.

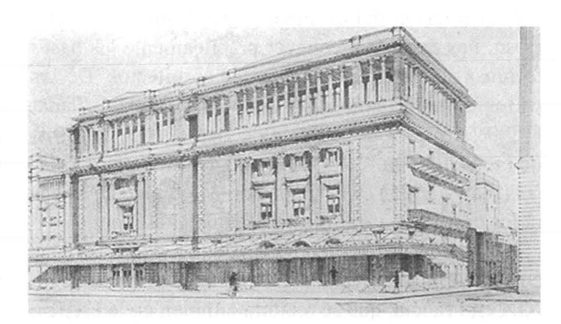




Figura 3
Adelphi and Lyric Theatres y el Lafayette Buildings de Philadelphia publicados en el catálogo (Catalogue of the Fourteenth Annual Architectural Exhibition Philadelphia 1908)

También será reseñable *The New York Architect*, (1907–1915) revista neoyorquina de evidente relevancia desde el punto de vista divulgativo de las construcciones mas avanzadas tecnológicamente de Nueva York; así como las revista *Pacific Coast Architect* ó los periódicos catálogos que Cebrián enviará, *Catalogue of the fourteenth annual Architectural Exhibition Philadelphia: April thirteenth to May third 1908 the t. square club and the Philadelphia chapter American Institute of Architects* (fig. 3), que permiten investigar y establecer los eslabones perdidos entre la evolución de la arquitectura americana y la europea del siglo XX a través específicamente de los conocimientos técnicos y los sistemas de construcción con los nuevos materiales, y cuya aplicación directa en la ejecución de las obras arquitectónicas contemporáneas inclinará a los arquitectos más preparados a la interpretación, afinamiento y depuración de las contradicciones que se reproducirán con la inclusión de las nuevas tecnologías sobre el cuerpo material de las construcciones tradicionales, decantando y evolucionado así aquellas nuevas tipologías constructivas cuya lógica se significará como substrato de la nueva forma arquitectónica del siglo XX.

En este sentido, el modo de entender la incorporación de la estructura a la construcción de edificios, abre un camino orientativo de discusión desde aquellas actitudes, en las que coexistiendo con soluciones formales académicas en su definición tendrá referencias a sistemas de medida y proporciones ajenas a ella, hasta actitudes posteriores en las que será asumida como trama autónoma desde la que se impulse una nueva caracterización tipológica (Edminster 1913) (fig. 1).

La orientación técnica de las publicaciones que se recibirán en el Donativo irá variando contemporáneamente con tres períodos diferenciables en el primer tercio de siglo XX, 1903–1914, período que comprende desde el comienzo del envío del Donativo hasta el estallido de la Primera Guerra mundial, 1914–1925 el segundo período se cerraría con la Exposición de París de 1925, y 1925–1935 el último que correspondería con el año de la muerte.de Juan Cebrián.

En el primer período con el comienzo del envío de libros, la necesidad de fundamentar teóricamente los estudios y la investigación de arquitectura se proyectará en obras de teoría general que serán referencias

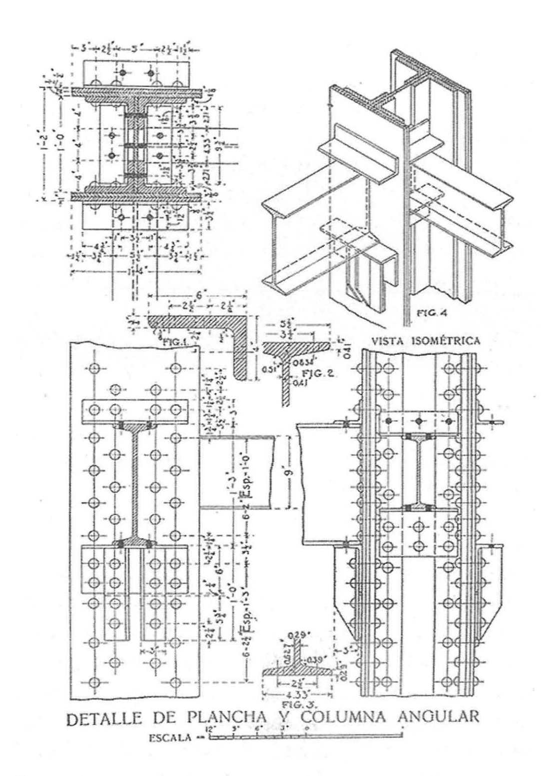


Figura 4
Detalle de plancha y columna angular. Nudo de estructura de acero del álbum de soluciones constructivas editado por C. Franklin Edminster (Edminster 1913)

de las distintas corrientes críticas y compositivas del XIX, Viollet-le-Duc (1877, 1883, 1884) (fig. 5) Auguste Choisy (1873, 1904), al tiempo que se equilibrarán posiciones con textos de Hermann Muthesius (1900, 1904) encuadrado a comienzos de siglo en posiciones de racionalismos constructivos, cercanas a las de Cuypers (Stuers 1897) y Berlage (Gratama 1925) Hay que recordar que estos tres últimos arquitectos asistirán en 1904 en Madrid al VI Congreso Internacional de Arquitectos (Gallego, E. 1904) donde se confrontarán las distintas tendencias arquitectónicas europeas y sus respectivas posiciones respecto al papel que debía jugar lo técnico en la concepción arquitectónica, escenificándose al tiempo desde la representación española en el congreso, el enfrenamiento entre las diferentes posiciones de los arquitectos españoles y la fundamentación sobre sus orígenes formativos técnicos.

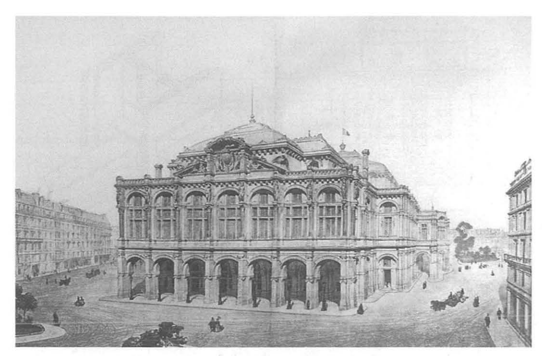


Figura 5
Heliograbado de una acuarela de Viollet-Le-Duc del proyecto del concurso para la Academia Imperial de Música, (Viollet-Le-Duc 1884)

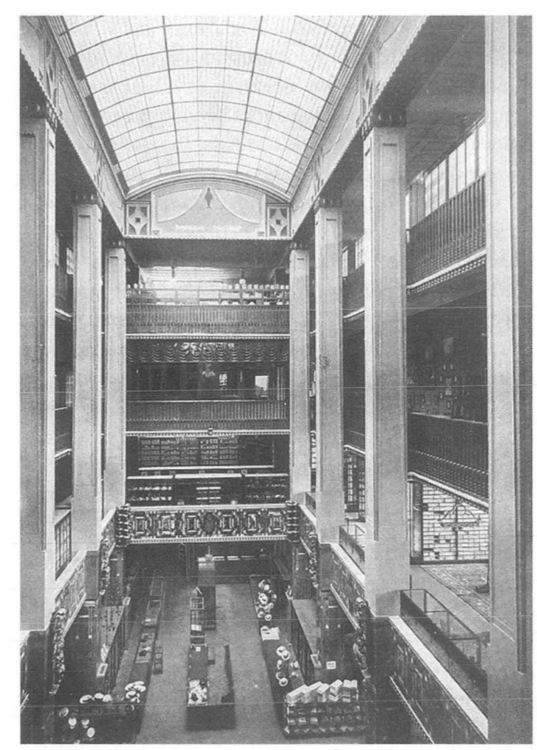


Figura 6
Vista interior de los grandes almacenes Warenhaus in Dusseldorf de J. M.Olbrich (Olbrich 1909)

Otro campo de interés en esta primera fase de los envíos de Cebrián será la documentación del estado de la arquitectura, tanto en Europa como en Estados Unidos y fundamentalmente las últimas realizaciones destacadas en distintas ciudades Londres (Ernst Wasmuth 1900a), Munich (Druck von CC Roder 1900), Berlin (Ernst Wasmuth 1900b, Hoffmann, 1902) y Viena (Anton Schroll & Co. 1902, entre otras, sin descuidar la divulgación de la obra de las figuras más influyentes en la interpretación de las nuevas ideas modernas, Wagner (1905a, 1905b), Olbrich (1901, 1909) (fig. 6) y la de los arquitectos De Stijl, Saarinen y otros encuadrados en *Moderne Bauformen* (Gradl 1903–1909, Anton Schroll & Co. 1902–1908) Al mismo tiempo y de manera singular el Donativo Cebrián documentará bibliográficamente la arquitectura norteamericana, teniendo los arquitectos y estudiantes del primer tercio de siglo XX la posibilidad de contrastar ideas y soluciones nuevas, de manera periódica y actualizada. Son relevantes las publicaciones que se enviarán de las diferentes ediciones de las exhibiciones anuales de arquitectura americana (T. Square Club, 1908, George F. Lasher Editor 1912)

Esta especial situación que disfrutará el ambiente arquitectónico español se verá acentuado con la recepción en los mismos años de publicación de obras tan significativas como las de F. Ll. Wright (1910) (fig. 7) y L. Mumford (1928) (fig. 8) así como los trabajos destacados de los arquitectos que desarrollarán la tipología de rascacielos en las ciudades norteamericanas (Paul Wenzel et Maurice Krakov 1923).

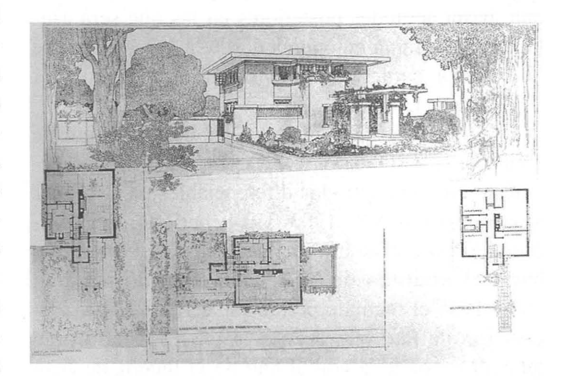


Figura 7
Reproducción del dibujo de la casa para Harley Bradley en Kankakee, Illinois de 1903 compilado por F.Ll.Wright en el álbum recolpilación de sus trabajos presentado por primera vez en Europa. (Wright 1910)

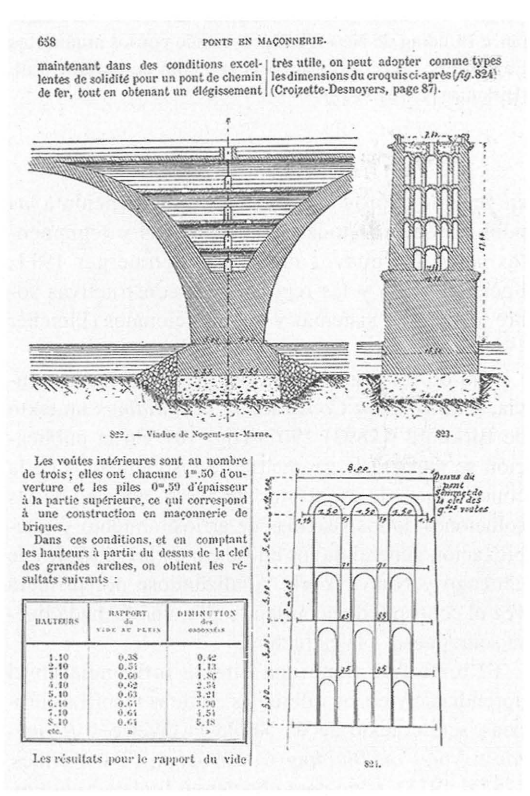


Figura 8
Vista del Panhellenic House de New York, proyectado por J.M.Howell, obra incluida en la selección de arquitectura americana publicada por Oliver Reagan de la AIA y prologada por Lewis Mumford (Mumford 1928)

En el campo de la bibliografía técnica, Juan Cebrián mostrará dos líneas de interés clara. De una parte documentar y fundamentar técnicamente los criterios higienistas y de saneamiento de las edificaciones y de las poblaciones, añadiendo al mismo tiempo una especifica información sobre diseño con condiciones higiénicas de espacios tanto públicos como privados así como el tratamiento artificial con las más nuevas técnicas del aire interior de los edificios.

Este interés que se manifestará con el envío de varios de los textos de su biblioteca particular (Baldwin 1882, Guillot 1914), más relevantes y conocidos en Estados Unidos se apoyaba en las resoluciones y las nuevas orientaciones que se publicarán de las conclusiones de los diferentes congresos internacionales sobre higienismo y salubridad, que se celebrarán en París 1900, Zaragoza 1904, Londres 1908

Y de otra parte facilitar una apoyatura técnica y científica para el diseño, cálculo y construcción de las estructuras de edificación con especial interés en las que utilizarán los nuevos materiales y sus técnicas de aplicación, los entramados reticulares, esqueletos de acero y hormigón, las estructuras de grandes vigas y arcos, concretándose este interés en las publicaciones de diseño y cálculo de puentes (Chaix 1890, Gehler 1911, Bastine 1913) (fig. 9) así como



658 PONTS EN MAÇONNERIE.

maintenant dans des conditions excellentes de solidité pour un pont de chemin de fer, tout en obtenant un élégissement très utile, on peut adopter comme types les dimensions du croquis ci-après (*fig*. 824) (Croizette-Desnoyers, page 87).

822. — Viaduc de Nogent-sur-Marne. 823.

Les voûtes intérieures sont au nombre de trois; elles ont chacune 1m.50 d'ouverture et les piles 0m,39 d'épaisseur à la partie supérieure, ce qui correspond à une construction en maçonnerie de briques.

Dans ces conditions, et en comptant les hauteurs à partir du dessus de la clef des grandes arches, on obtient les résultats suivants :

HAUTEURS	RAPPORT du VIDE AU PLEIN	DIMINUTION des [illegible]
1.10	0.38	0.42
2.10	0.51	1.13
3.10	0.60	1.86
4.10	0.62	2.54
5.10	0.63	3.21
6.10	0.64	3.90
7.10	0.64	4.54
8.10	0.64	5.18
etc.	»	»

Les résultats pour le rapport du vide

824.

Figura 9
Reproducción de las secciones de los estribos del viaducto Nogent-sur-Marne aligeradas con bóvedas y arcos de 50 metros, en el *Traité des ponts,* Enciclopedie Théorique & practique des connaissances civiles & militares (Chaix 1890)

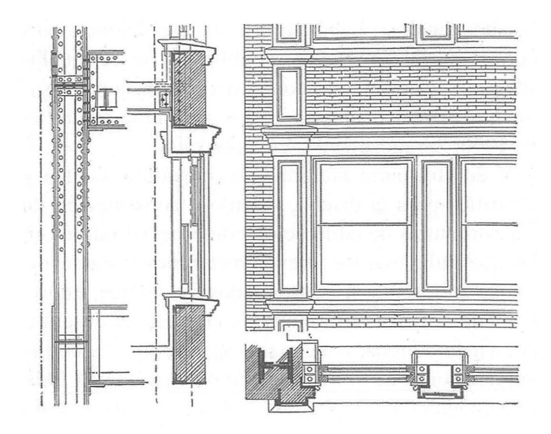


Figura 10
Sección constructiva del cerramiento del Home Life Insurance Building de New York proyectado por los arquitectos Le Brun & Sons, mostrando la solución de curtain wall. (Birkmire [1893] 1907)

en general se proyectará una especial atención a las publicaciones de todas las normativas y reglamentos sobre los nuevos materiales (Emperger 1911, Foerster 1912) y las regulaciones constructivas sobre los nuevos sistemas y los tradicionales (Fletcher 1914).

Uno de los primeros textos que Juan Cebrián envía, será *Skeleton Construction in Buildings* un texto de Birkmire ([1893] 1907) (fig. 10). En la publicación se muestra la geometría de los elementos de la construcción de esqueletos de acero, además de las soluciones de los sistemas de arriostramiento y estabilización general de los edificios, en las ciudades de Chicago y Nueva York. Analizándose por primera vez el concepto de «courtain wall», una fachada ligera sobrepuesta a la estructura.

El texto que tiene una directa influencia en el aprendizaje y en las diferentes culturas técnicas europeas, será el texto de W. Noble Twelvetrees, *Rivington's Notes on Building Construction* (Twelvetrees, [1875] 1915), texto para obtener en Inglaterra la titulación de arquitecto, que desarrolla de manera práctica todo el conocimiento constructivo y técnico, desde 1875 hasta 1923 teniendo como referencia, todas las instrucciones y normativas británicas en vigor como las *London Building Act* (Fletcher [1855] 1914) desde 1855, actualizando tales referencias normativas respecto a la aplicación de materiales y tipos estructurales (London County Council Act 1909).[3]

Será significativa la participación del ingeniero Herbert W. Wills, editor de la revista *The Builder*, edición británica para Europa de la revista americana *The Builder*, representando la conexión entre el conocimiento técnico norteamericano y el europeo.

El hormigón como nuevo material tiene una extensa atención en el Donativo, permitiendo el fondo documental de manera singular, el contraste de las posiciones y evolución de los sistemas de cálculo y construcción americanos y europeos. Destacan textos americanos como los de H. Reid (1908) E. Ransome (Ransome y Saurbrey 1912) y G. Hool (1912). El primero desarrollando la teoría de cálculo conocida y fundamentada en los criterios del norteamericano Hyatt. Describirá todas las patentes conocidas tanto americanas como europeas de hormigón armado, reconociendo, el valor modular de la solución constructiva, como una definición del módulo base estructural que determinará una modulación general de la planta de arquitectura.

Incluirá también una extensa colección de edificios de todo el mundo en hormigón armado desde el Ingalls Building (fig. 11), el primer rascacielos de hormigón armado construido en el mundo en 1904, de los arquitectos Elzner y Henderson, al proyecto de

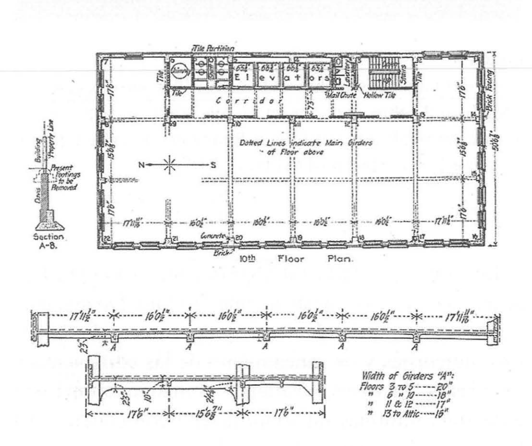


Figura 11
Planta y sección de losas de forjado del Ingalls Building construido por Ezner & Henderson en 1903 en Cincinati, Ohio, publicado dentro de la selección mundial de obras proyectadas y realizadas en hormigón armado por Homer A. Reid (Reid 1908)

mayor superficie construida en planta de José Eugenio Ribera del Tercer Depósito del Canal de Isabel II en Madrid, jalón significativo en el desarrollo de la construcción en hormigón en España debido a su fatal colapso, que paralizará el desarrollo de la construcción en hormigón armado en España hasta el despegue que se producirá en fechas cercanas al comienzo de la Primera Guerra Mundial.

El texto de Ransome describirá su sistema «Ransome Unit System». Las soluciones de esqueleto y su aplicación para construcciones en altura, será el objetivo de su estudio, que identificará la cualidad del material, por su defensa de las estructuras al fuego, así como su simplificación geométrica.

La definición científica del esqueleto de hormigón tendrá su representación entre otros con G. Hool en Estados Unidos y F. Emperger (1912b) (fig. 12) en Europa encabezando las diferentes hipótesis de cálculo que servirán para la regulación de los distintos elementos y las soluciones constructivas con hormigón.

Si el acero es el material que en primer lugar asume la forma de esqueleto, el desarrollo del hormigón armado conformará a partir del la primera quincena del siglo XX, 1914–1925, período de entreguerras europeas, el substrato material del esqueleto, llegando a representarse el esqueleto de hormigón armado como paradigma de la retícula estructural. Su representación y difusión se realizará con las características de un modelo

La estructura vuelve de esta manera, a recuperar su capacidad de figuración. Su definición dimensional, establecida a partir de criterios técnicos, se propone como la base geométrica del trazado de la arquitectura, constituyéndose al mismo tiempo como un soporte neutro sobre el que se superpondrá figurativamente una geometría abstracta, de soluciones constructivas independientes.

Esta generalización de las nuevas soluciones constructivas y la aparición de nuevos programas funcionales, se identificará en las nuevas adquisiciones que servirán como referencias iconográficas y modelos figurativos. E. Vergnes (1924) (fig. 13) divulgará las soluciones de los nuevos cinematógrafos europeos,

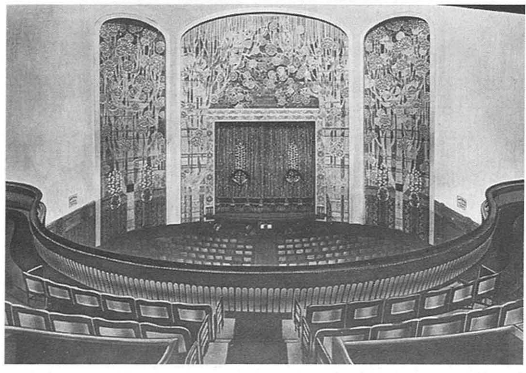



Figura 13
Vista interior del cinema Belgrand en París, proyectado por H. Sauvage, publicado por E. Vergnés. (Vergnés 1924)

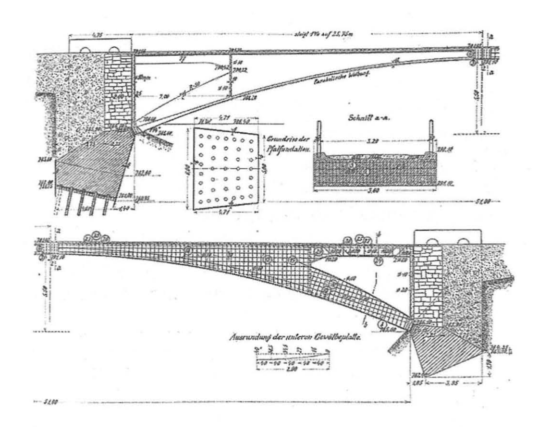


Figura 12
Detalles constructivos del puente sobre el Rhin en Tavanasa proyectado por Robert Maillart, publicado dentro del conjunto de puentes en hormigón armado estudiados por F. von Emperger en su *Brückenbau* (Emperger 1912b)

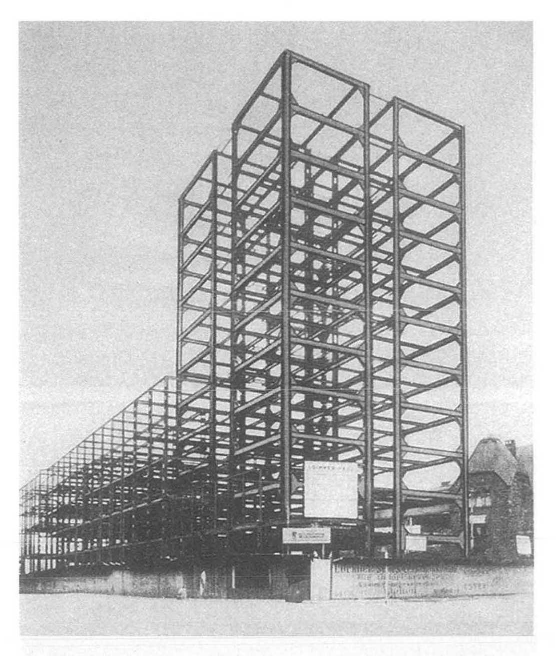


Figura 14
Estructura de esqueleto de acero de la Lochnerhaus en Aachen proyectado por E.Fahrenkamp en 1924 (Spiegel 1928)

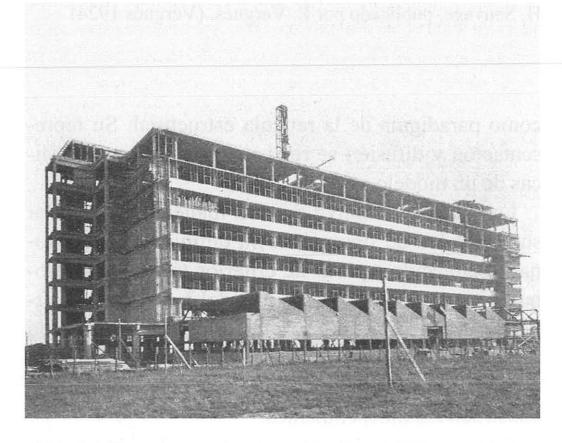


Figura 15
Fotografía de la construcción de la factoría de tabacos Van Nelle en Rotterdam, proyectada por J.A.Brinkmann & L.C. van der Vlugt publicada en la recopilación de obras europeas más significativas construidas en hormigón armado por L.Hilberseimer y J.Vischer (Hilberseimer y Vischer 1928)

E. Kinsila (1917) las soluciones norteamericanas, A. Behne (1923) y J. Badovici (1923) entre otros las diferentes tipologías edificatorias que comienzan a desarrollarse, edificios de viviendas, en altura, industriales, hoteles. El periodo concluirá con la fecha de la Exposición de París (*L'Art Vivant* 1925) y su divulgación en la Escuela de Madrid, con la adquisición de su catálogo.

Con el perfeccionamiento de los sistemas de cálculo estructurales, en la segunda mitad de la década de los años veinte 1925–1935

y antes del desarrollo del método de Cross en 1934, la estructura de esqueleto, en acero y hormigón se generalizará, con la ejecución de construcciones en altura. La capacitación que permitirán los nuevos avances en el cálculo de las deformaciones (Kann 1930) en las estructuras de hormigón y los sistemas de unión de piezas de acero mediante la soldadura, servirá para establecer la seguridad y la rigidez de las soluciones hiperestáticas de las estructuras de esqueleto.

Dos textos sancionarán de manera sintética el desarrollo del esqueleto, *Der Stahlhansbau* (Spiegel 1928) (fig. 14) y *Beton als Gestalter* (Hilberseimer y Vischer 1928) (fig. 15) en ellos el esqueleto, como una geometría abstracta, podrá desarrollarse en altura, y empleando grandes luces de crujía facultará la interpretación del elementalismo estructural, en una nueva figuración arquitectónica.

Notas

1. Todos los textos y revistas que se reseñan bibliográficamente en esta publicación pertenecen al Donativo Cebrián, a excepción de los reseñados como pertenecientes a la Biblioteca antigua de la Escuela Superior de Arquitectura, existente antes de 1903.
2. Entre los diferentes textos de *Los diez libros de Arquitectura* Marco Vitrubio Polión que se encontrarán en los fondos de la biblioteca de la Academia de San Fernando y que pasarán al fondo documental de la biblioteca de la Escuela Superior de Arquitectura, con fechas de edición desde 1522, reseñamos el texto *Textos traducidos del latín y comentados por Joseph Ortiz y Sanz que incluye una inscripción* An. ms: «De la Academia de S. Fernando» y fue editado en la Imprenta Real. (Vitrubio [27 a.C.] 1787).
3. El texto manejado es la edición de 1915 editado por Longmans, Green & Co. en Londres. La primera edición de Rivintong's Notes se realiza en 1875, editándo-

se hasta 1915, seis ediciones. Este libro tiene como subtítulo *A Book of reference for Architects and Builders and a text-book*. La primera edición se dirige en los primeros años a los estudiantes que se examinaban para Building Construction en Board of Education, South Kensington. (Twelvetrees, [1875] 1915).

Lista de Referencias

A monograph of the work of Mellor, Meigs & Howe. 1923. New York: The Architectural Book Publishing, Paul Wenzel et Maurice Krakov.

Architectural Exhibition 40. 1908. Philadelphia. 1908. *Catalogue of the fourteenth annual architectural exhibition Philadelphia: April thirteenth to May third 1908. The T. Square Club and the Philadelphia chapte*r. Philadelphia: American Institute of Architects. T. Square Club.

Ariño, F. 1917. *Catálogo del Donativo Cebrián*. Madrid: Imprenta Alemana.

Badovici, J. 1923. *Documents d'Architecture, Maisons de Rapport, de Charles Plumbet*. París: Editions Albert Morancé.

Baldwin, W. 1882. *Steam heating for buildings; or hints to steam fitters*. New York: J. J. Litle et Co.

Barré, L. A. 1899. *Pequeña Enciclopedia Práctica de la Construcción,* Traducción de Luís Gaztelu, y Miguel Meléndez y Boneta, Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 3ª edición. Madrid: Editorial De Bailly - Baillie-re e Hijos.

Bastine, P. 1913. *Hochbau*. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn.

Behne, A. 1923. *Der moderne zweckban von*. München.

Birkmire, W. H. [1893] 1907. *Skeleton Construction in Buildings*. New York: John Wiley and Sons.

Bresse,M. 1859. *Cours de Mécanique appliquée professé a L'École Impériale des Ponts et Chaussées*. París: Editor Mallet-Bachelier Canina, L. 1844. *L'Architettura antica descritta e dimostrata coi monumenti dall'architetto Luigi Canina*. Roma: Stesso Canina.

Cardellách, F. 1910. *Filosofía de las estructuras*. Barcelona: Librería Agustín Boch.

Chipiez, CH. 1876. *Histoire critique des origines et de la formation des ordres grecs*. Paris: Ve A. Morel & Cie.

Cardellách, F. 1910. *Filosofía de las estructuras*. Barcelona: Librería Agustín Boch.

Castigliano, A. 1879. *Théorie de l'equilibre des systémes élastiques et ses applications*. Lyon: J. Baudry Editor.

Catalogue of the Fourteenth Annual Architectural Exihibition Philadelphia. 1908. Philadelphia: The T Square Club.

Chaix, J. 1890. *Traté des Ponts,* Tours: Georges Fanchon.

Choisy, A. 1873. *L'art de bâtir chez les romains*. Paris: Ducher et Cie.

Choisy, A. 1904. *L'art de bâtir chez les égyptiens*. París: Edouard Rouveyre.

Daly, C. 1870. v3. *Nouvelles maisons de Paris et des environs*. París: Librairie Générale de l'Architecture et des Travaux Publics Ducher et Cie.

Edminster, C. F. 1913. *Álbum de esquemas para las construcciones metálicas*. Traducción de Manuel Doménech. Barcelona: Librería de Feliú y Susanna.

Emperger, F. von. 1911 *Handbuch für Eisenbeton*. Berlin: Gebrüder Ernst.

Emperger, F. von. 1912 *Handbuch für Eisenbeton*. Berlin: Gebrüder Ernst.

«Exposition Internacionale des Arts Decoratifs», *L'Art Vivant*, 1925. París.

Fletcher, B. [1855] 1914. *The London Building Acts*. London: B.T. Batsford.

Gallego, E. 1904. «VI Congreso Internacional de Arquitectos». *La Construcción Moderna*, junio. n. 11. Madrid.

Gehler, W. 1911. *Brückenbau*. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn.

Gradl, M. J. 1903–1909. *Moderne Bauformen*. Sttutgart: Hoffmannschen Buchdruckerei Felix Krais.

Gratama, J. 1925. *Dr. H.P. Berlage bouwmeester: 230 afbeeldingen van zijn werk*. Rotterdam: W.L. & J. Brusse's uitgever-maatschappij.

Guillot, E. 1914. Lyon: *La maison salubre*. H. Dunod et E. Pinat.

Hilberseimer, L. y Vischer, J. 1928. *Beton als gestalter*. Stuttgart: Julius Hoffman Edit.

Hoffmann, L. 1902. *Neubauten der stadt Berlin: Gesamtansichten und einzelheiten nach den mit massen versehenen originalzeichnungen der fassaden und der innenräume, sowie naturaufnahmen der bemerkenswertesten teile der seit dem jahre 1897 in Berlin errichteten städtischen bauten*. Leipzig: Bruno Hessling.

Hool, G. A. 1912. *Reinforced concrete construction*. New York: The Maple Press.

Kann, F. 1930 «Fortschritte in der experimentellen statik vielfach umbestimmter rahmensysteme». *Premier Congrés Internacional du Béton et du béton armé. Vol.1*, Liège: La Technique du Travaux Editions.

Kinsila, E. B. 1917. *Modern theatre Construction*. New York: Chalmers Publisher Co.

London County Council Act 1909. 1909. *Regulation of Iron and Steel Frame Construction*. London.

Mumford, L. 1928. *American architecture of the twentieth century* New York: Architectural Book publishing Co., Paul Wenzel and Maurice Krakow.

Muthesius, H. 1900. *Die englische baukunst der gegenwart: beispiele neuer englischer profanbauten*. Leipzig, Berlin: Cosmos, Verlag für Kunst und Wissenschaft.

Muthesius, H. 1904. *Das englische haus*. Leipzig: Ernest Wasmuth Editor.

Neubauten in Brüssel. 1900b. Berlin: Ernst Wasmuth.
Neubauten in London. 1900a. Berlin: Ernst Wasmuth.
Neubauten in Munchen. 1900. Leipzig: Druck von CC Roder.
Olbrich, J.M. 1901. *Architektur von Olbrich.* Berlin: Ernst Wasmuth.
Olbrich, J.M. 1909. *Das Warenhaus Tietz in Düsseldorf.* Ernst Wasmuth.
Perrot, G. 1882–1914. 10v. *Histoire de l'art dans l'antiquité: Ëgypte, Assyrie, Phénicie, Judée, Asie Mineure, Perse, Gréce.* París: Librairie Hachette.
Planat, P. 1890–1902. 7v. *Enciclopedie de l'Architecture et de la construction*, Corbeil Imp. Creté-de LÁrbre, París: Aulanier et Cie.
Planat, P. 1900. *Hotels privés: Habitations particulières.* París: Dujardin & Cie.
Planat, P. 1905. *Cours de Constructions Civiles.* París: Corbeill Editeurs.
Ransome, E. L. y Saurbrey, A. 1912. *Reinforced Concrete Buildings.* New York: Mac Graw-Hill Book Company.
Ribera, J. E. 1895. 2v. *Puentes de hierro económicos, muelles y faros sobre palizadas y pilotes metálicos.* Madrid: Librería Editorial de Bailly-Bailliere e Hijos.
Ribera, J. E. 1897a. *Estudios sobre el empleo del acero en los puentes.* Madrid: Revista de Obras Públicas.
Ribera, J. E. 1897b. *Estudio sobre los grandes viaductos.* Madrid: Revista de Obras Públicas.
Reid, H. A. 1908. *Concrete and Reinforced Concrete Construction.* New York: The Myron C. Clark Publishing Co.
Spiegel, H. 1928. *Der Stahlhansbau.* Leipzig Offset druck in Manutief von E. Ullmann.
Stuers, V. 1897. *Le Museé Nacional â Amsterdam.* (Texto de Victor de Stuers,planches de P.J.H.Cuypers). Amsterdam.
The Eighteenth Architectural Exhibition. 1912. *Give by The Philadelphia Chapter and the T.Square Club, april 14 th to may 5 th, 1912; under the patronage and the galleries of The Pennsylvania Academy of the Fine Arts.* Philadelphia: American Institute of Architects, George F. Lasher Editor.
Twelvetrees, W. N. [1875] 1915. *Rivington's Notes on Building Construction.* London: Longmans, Green & Co.
Vergnes, E. 1924. *Cinémas: vues extérieures et intérieures-détails-plans.* Paris: Ch. Massin.
Viollet-Le Duc, E. E. 1863a. 3v. *Entretiens sur l'architecture.* París: A. Morel et Cie éditeurs.
Viollet-Le-Duc, E. E. 1877. *L'art russe: ses origins, ses elements constitutifs,son apogee,son avenir.* París: Ve A. Morel et Cie.
Viollet-Le-Duc, E. E. 1883b. *Les Églises de Paris.* París: C.Marpon et E.Flammarion.
Viollet-Le-Duc, E. E. 1884, *Compositions et dessins de Viollet-le-Duc.* Paris: Librairie Centrale d'Architecture des Fossez et Cie.
Vitrubio, M. [27 a.C.] 1787. *Los diez libros de architectura.* Textos traducidos del latín y comentados por Joseph Ortiz y Sanz. Madrid: Imprenta Real.
Wagner, O. 1905a. *Wagnerschule.* Wien: Druck von Friedrich Jasper.
Wagner, O. 1905b. *Wagnerschule 1902: 03 und 1903: 04: projekte studien und skizzen aus der spezialschule für architektur des oberbaurat.* Wien: Baumgärtners Buchhandlung.
Wiener Neubauten im style der secession und anderen modernen stylarten: fassaden, details, haustore, vestibule. 1902. Wienen: Anton Schroll & Co.
Wright, F. LL. 1910. *Ausgeführte bauten und entwürfe von Frank LLoyd Wright.* Leizpizg: Ernst Wasmuth.

Nuevas consideraciones sobre los sistemas hidráulicos de abastecimiento a *Emerita Augusta*

Fernando Aranda Gutiérrez
José Luís Sánchez Carcaboso
Esperanza Andrés Díaz
María Eugenia Polo García
Germán Rodríguez Martín

La ciudad romana de Mérida, *Emerita Augusta*, fue fundada en tiempos del primer emperador romano, Augusto, para asentar a los veteranos de sus legiones que habían luchado en las últimas guerras de Roma en la Península Ibérica.

Tras su fundación, la ciudad va teniendo un crecimiento progresivo, acrecentado por su importancia administrativa como capital provincial de *Lusitania*, alcanzando un gran esplendor, y una cifra de habitantes que, según los diversos investigadores que han estudiado el tema, es probable que estuviera comprendida entre los 20.000 y los 30.000.

Es sobradamente conocido que la civilización romana, básicamente urbana, realizó un esfuerzo constructor sin precedentes para dotar a sus ciudades de unos adecuados servicios urbanos y comunicaciones, que no solo facilitaban la vida de sus habitantes, sino que además servían para evocar constantemente la grandeza del Imperio.

El caso de Mérida no fue una excepción, existiendo numerosos restos que lo atestiguan, algunos de ellos de gran monumentalidad, como el puente romano sobre el Guadiana, los edificios de espectáculos (teatro, anfiteatro y circo) o el acueducto de Los Milagros, por citar los más conocidos.

Uno de los aspectos esenciales para la vida urbana, que fue especialmente cuidado por la civilización romana, es el relativo al abastecimiento de agua. En este periodo histórico se hizo un uso muy amplio del líquido elemento, realizando los mayores esfuerzos para aprovisionarse del mismo en cantidades importantes, incluso en entornos geográficos no demasiado propicios para ello.

En el caso de Mérida, este esfuerzo se concretó en la realización de tres grandes sistemas de abastecimiento, compuestos cada uno de ellos por diversos elementos interconectados, entre los que se incluyen dos grandes presas, varios azudes, casi 50 kilómetros de conducciones, dos acueductos monumentales y otros más pequeños, constituyendo un verdadero muestrario de la ingeniería hidráulica romana de enorme interés desde los puntos de vista técnico, histórico y monumental.

Recientemente, el origen romano de las presas de Proserpina y Cornalbo (en especial de la primera) e incluso su propia relación con los sistemas romanos de abastecimiento a Mérida ha sido puesto en duda (Feijoo, 2005 y 2006).

En resumen, los argumentos que se aportan para ello son básicamente dos. En primer lugar se afirma, categóricamente y de forma universal, que el agua de cualquier embalse no es válida para el abastecimiento urbano sin un tratamiento de depuración muy intenso, tratamiento que no se podría dar en la época romana, luego los romanos no se abastecerían de embalses, con lo que las presas no serían romanas.

En segundo lugar, con relación a la presa de Proserpina, se afirma que la fábrica de la parte inferior de la presa no parece romana, sino altomedieval.

Ante lo sumamente discutibles y subjetivos que nos parecían estos argumentos, y la gran cantidad de evidencias contrarias a las conclusiones extraídas de

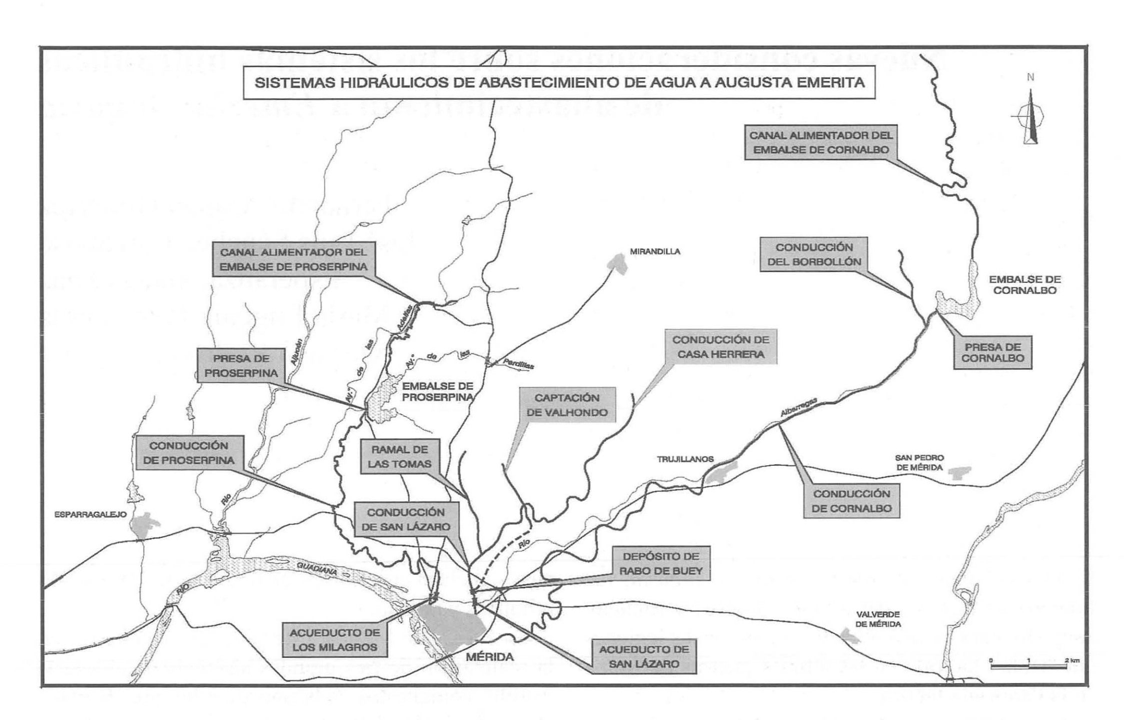


Figura 1
Planta general de los sistemas hidráulicos de abastecimiento a Mérida (fuente: Miguel Arenillas)

los mismos, un grupo de personas interesadas en estos temas, hemos realizado un trabajo encaminado, por una parte, a revisar los datos existentes no solo sobre las presas de Proserpina y Cornalbo, sino sobre la globalidad de los sistemas de abastecimiento romanos a Mérida, y por otra, a buscar datos nuevos de interés sobre el tema, que nos permitieran valorar la posible veracidad de los citados argumentos y conclusiones.

Nuestro estudio ha dado lugar a un trabajo de próxima publicación (Aranda Gutiérrez *et al.;* 2006) cuyas conclusiones resultan categóricas: no hay en absoluto motivos para dudar del origen romano de las presas de Proserpina y Cornalbo.

Expondremos aquí, muy brevemente, gran parte de las consideraciones que nos permiten afirmar esto, muchas de las cuales eran ya conocidas, aunque quizá poco divulgadas, mientras que algunas otras resultan novedosas, al representar enfoques del estudio de los acueductos romanos de Mérida desde nuevos puntos de vista, lo cual es algo que tenemos que agradecer al autor que pone en duda la romanidad de las presas.

Los sistemas hidráulicos de abastecimiento a Mérida

Antes de entrar a exponer nuestros argumentos, creemos que resulta preciso describir a muy grandes rasgos los abastecimientos romanos a *Emerita Augusta*.

La ciudad llegó a contar con tres sistemas hidráulicos de abastecimiento, que fueron entrando en servicio de forma paulatina, a medida que la demanda de agua iba en aumento, e incluso uno de ellos, como veremos, fue objeto de una importante ampliación para incrementar su aportación.

Para entender adecuadamente por qué los romanos tuvieron que realizar un esfuerzo constructivo tan grande para dotar de agua a la ciudad, hay que considerar las condiciones de la hidrología superficial y subterránea de su entorno, que a su vez son consecuencia fundamentalmente de la climatología, la geología y la topografía del terreno.

En cuanto a precipitaciones medias anuales, el entorno de Mérida se sitúa básicamente entre las isoyetas correspondientes a 500 y 600 mm, más cerca de

la primera, pudiendo señalarse un valor medio en torno a los 525 mm, si bien hay que destacar la enorme irregularidad de las lluvias que pueden caer sobre la zona de unos años a otros, irregularidad interanual que se superpone a la importante diferencia existente dentro de un mismo año entre la estación húmeda y la seca.

Si las formaciones geológicas que constituyen la base del terreno sobre el que se producen estas precipitaciones tuvieran una permeabilidad suficiente, la escorrentía subterránea podría tener cierta importancia, y compensar de alguna forma estas irregularidades, gracias a la acción reguladora del propio terreno. Sin embargo, en la zona de Mérida, y en general en la cuenca hidrográfica del Guadiana, no es así.

Desde un punto de vista geológico podemos afirmar que en la zona Sur del Occidente peninsular, el dominio de las formaciones del Paleozoico inferior es casi completo, estando estas constituidas fundamentalmente por extensos pizarrales, alineaciones de cuarcitas, batolitos graníticos o granitoides y únicamente algunas calizas. En definitiva, se trata de materiales bastante impermeables en su mayor parte.

Una excepción a esto la constituyen los sedimentos detríticos, que al estar constituidos muchas veces por tamaños relativamente gruesos, sí pueden ser bastante permeables, generando acuíferos de cierta importancia. Pero dada la situación de estos sedimentos, casi siempre asociados a cauces fluviales, estos acuíferos son en realidad subálveos, es decir, están comunicados con las aguas superficiales del cauce.

La naturaleza impermeable de la mayor parte de las formaciones que constituyen el entorno de Mérida, tiene asimismo como consecuencia la no existencia de manantiales caudalosos en la zona. Existen numerosas fuentes y manantiales que corresponden a puntos de drenaje natural de las aguas previamente infiltradas en el terreno, pero su caudal es pequeño, por la razón antes indicada de la impermeabilidad y además porque la configuración del terreno, con pendientes por lo general suaves y desniveles moderados, no favorece tampoco la existencia de grandes cuencas subterráneas cuyas aguas confluyan en una zona para aflorar al exterior.

Tenemos que concluir que el abastecimiento desde manantiales no era posible en la Mérida romana. Por tanto, para poder alcanzar unas dotaciones de agua más o menos acordes con las de otras ciudades romanas, hubo que buscar otras fuentes de suministro que fueron básicamente las aguas subálveas y las aguas superficiales de arroyos, en este caso previamente reguladas mediante embalses, para remediar la irregularidad de sus aportaciones.

Parece seguro que el primer sistema hidráulico realizado fue el «AQVA AVGVSTA», actualmente designado «conducción de Cornalbo» (pero inicialmente sin la presa del mismo nombre. Este sistema captaba y transportaba las aguas subálveas asociadas al cauce del arroyo Albarregas. Para realizar estos aprovechamientos, se disponían galerías subterráneas bajo los cauces superficiales, que van drenando el subálveo de estos, y a la vez transportando las aguas recogidas. En el caso de la conducción de Cornalbo, además del ramal principal existe otro lateral conocido como «conducción del Borbollón».

La conducción de Cornalbo tiene una longitud de unos 18,4 km, y una pendiente en torno a las 3 milésimas. Las dimensiones de la conducción están en torno a los 0,7 m de anchura por 1,20 m de altura. El ramal del Borbollón tiene una longitud en torno a 1,5 km, una pendiente bastante superior, del orden de las 19 milésimas, y su sección tiene aproximadamente la misma anchura aunque mayor altura que la conducción de Cornalbo (C.H.G. e Ingeniería 75, 1997).

Posteriormente se construiría otro sistema hidráulico similar, conocido como «Rabo de Buey-San Lázaro», que en este caso aprovechaba los subálveos de pequeños arroyos tributarios del Albarregas por su margen derecha. El sistema constaba de al menos dos ramales, conocidos como «las Arquitas», así llamado por los brocales de los pozos de registro (*spiramina luminaria*) de la conducción (también se conoce a este ramal como «las Tomas») y «Casa Herrera». Existe un tercer ramal, «Valhondo» cuyo origen romano y relación con este sistema no está clara.

La longitud del ramal de «las Arquitas» es de unos 3 km, con pendientes de unas 18 milésimas en su tramo inicial y de unas 5 milésimas en el final, y unas dimensiones de 0,70 m de anchura por 1,80 de altura. En cambio, el ramal de «Casa Herrera» presenta una sección mucho más reducida, de 0,25 m de anchura por 0,40 de altura, siendo su longitud de unos 7,7 kilómetros y su pendiente media de unas 4 milésimas.

Estos ramales finalmente se reunían y salían a la superficie en la zona conocida como los «arcos de

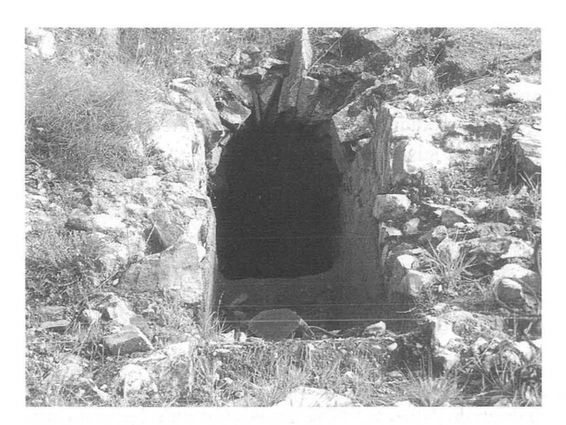


Figura 2
Restos de la conducción de Cornalbo en Mérida, seccionada por la trinchera de la carretera N-V

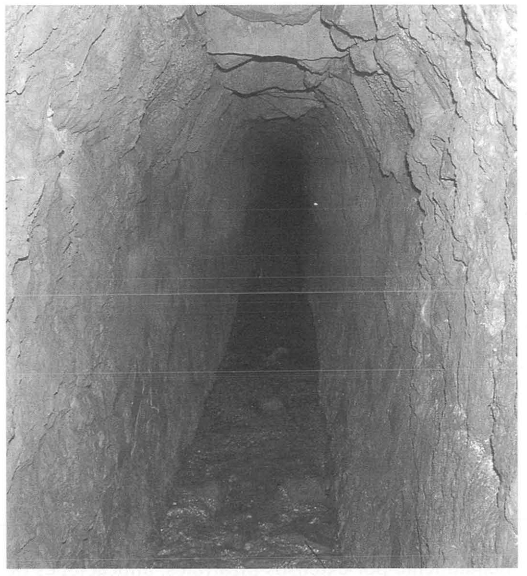


Figura 4
Interior de la galería del ramal de «las Arquitas», también conocido como «las Tomas»

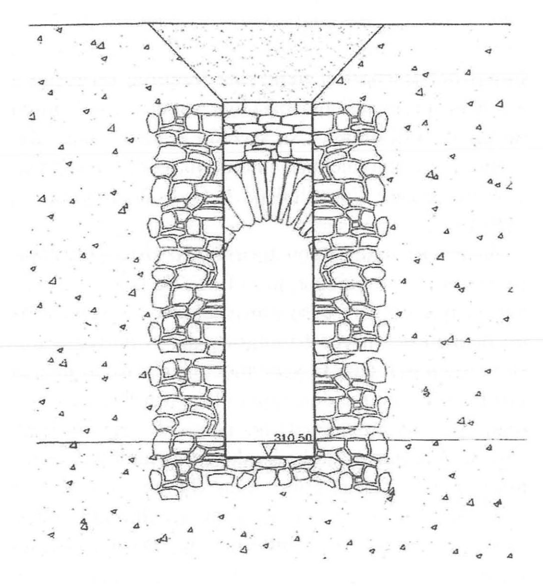


Figura 3
Sección de la conducción del Borbollón por un pozo de registro (C.H.G. e Ingeniería 75, 1997)

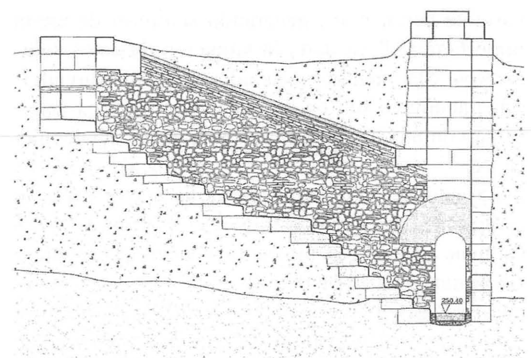


Figura 5
Sección de la galería de «las Arquitas» por pozo de registro con escaleras de acceso adosadas (C.H.G. e Ing. 75, 1997)

la Godina», entrando en la ciudad, para lo cual debía salvarse el valle del Albarregas mediante el antiguo acueducto romano de San Lázaro. Desde la unión de ambos ramales hasta la ciudad, la conducción tiene una longitud de unos 2,2 km, una pendiente de 2 milésimas y unas dimensiones de 0,6 m de ancho por 1,60 de alto (C.H.G. e Ingeniería 75, 1997).

Este sistema ha permanecido en funcionamiento hasta nuestros días. A principios del siglo XVI fue

preciso realizar un nuevo acueducto (acueducto moderno de San Lázaro) para cruzar el Albarregas en sustitución del romano. En el siglo XIX se realiza una limpieza y acondicionamiento del ramal de las Arquitas, así como un nuevo depósito terminal (depósito de Rabo de Buey) que abastecerá a las fuentes públicas de Mérida hasta mediados del siglo XX. Y finalmente, la Confederación Hidrográfica del Guadiana, en el marco de las recientes obras de defensa contra avenidas del arroyo Albarregas, ha conectado la conducción (que continúa aportando un caudal de entre 3 y 4 l/s) con los sistemas de riego de los jardines realizados en las márgenes del tramo urbano de este arroyo.

Estos dos sistemas iniciales de Cornalbo sin la presa, y Rabo de Buey-San Lázaro agotaron prácticamente las posibilidades de empleo de las aguas subálveas. Sin embargo, como veremos, la ciudad demandaba más agua.

Para conseguirla, se recurre a las aguas superficiales. La utilización de estas aguas presenta el grave problema de la acusada irregularidad, antes comentada, de los cauces de la zona. La solución a este problema es regular estos cauces mediante presas de embalse, lo que da lugar a las presas de Cornalbo y Proserpina.

La ampliación del sistema de Cornalbo se realizó construyendo una presa en la cabecera del Albarregas, que crea un embalse de importante volumen (hasta unos 10 hm^3). La cuenca propia de dicho embalse es reducida, por lo que se amplió con un canal alimentador al embalse, de unos 6 km, que parte de un azud en el «arroyo de las Muelas» y trasvasa al embalse parte de las aportaciones del mismo. Como veremos más adelante, con esto se consigue duplicar las aportaciones de este sistema.

El sistema de Proserpina utiliza en exclusiva aguas superficiales reguladas por la presa de dicho nombre, que se ubica en el «arroyo de las Pardillas» y crea un embalse de unos 5 hm^3, complementándose igualmente las aportaciones mediante un trasvase desde el «arroyo de las Adelfas» mediante el correspondiente canal alimentador, de unos 3 km de longitud.

La conducción desde el embalse hasta la ciudad parte de una de las dos torres de toma de la presa, ubicada en su estribo izquierdo. En la determinación completa del trazado de la misma, fue decisiva la intervención del Centro Universitario de Mérida (E.U. de Ingenieros Técnicos en Topografía) destacando la localización, por métodos geofísicos, de un tramo en túnel, excavado en granitos, existente cerca de la presa.



Figura 6
Acueducto de los Milagros, en la conducción procedente de la presa de Proserpina

Esta conducción tiene una longitud de unos 8 km, y una pendiente de 0,35 milésimas, cercana al límite inferior de pendientes utilizadas en los acueductos romanos conocidos, y de las recomendaciones al respecto de Plinio el Viejo (Polo García y Gutiérrez Gallego, 1999). Las dimensiones de la sección son de 0,6 m de ancho por 1,70 m de alto.

A su llegada a Mérida, la conducción tiene que salvar el valle del Albarregas, lo que se realiza mediante el monumental acueducto de los Milagros, uno de los más bellos ejemplos de este tipo de estructuras.

La presa de Proserpina está constituida por dos elementos claramente diferenciados. El primero de ellos, que se sitúa aguas arriba, en contacto con el agua del embalse, es un muro pantalla, constituido a su vez por un núcleo de «calicanto» u hormigón romano *(opus cementitium)* de importante espesor (hasta 6 m en la parte baja de la presa, según los sondeos realizados) y un revestimiento exterior de sillería (*opus cuadratum*).

A este muro pantalla se le adosa aguas abajo el segundo elemento estructural de la presa, que es un espaldón de tierras que contribuye a resistir el empuje hidrostático del agua del embalse. Esta disposición

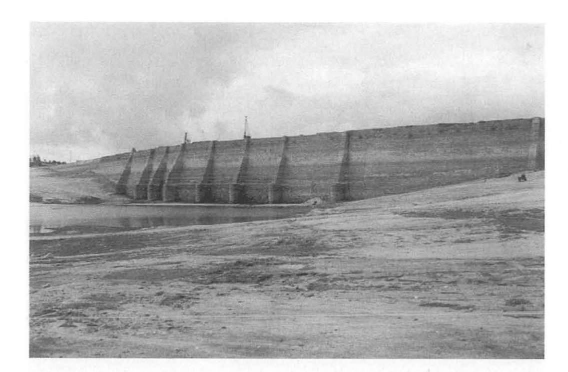


Figura 7
Presa de Proserpina, vista desde aguas arriba a embalse vacío (1995)

constructiva puede presentar el problema de la inestabilidad del muro pantalla frente a empujes del espaldón a embalse vacío. Por dicho motivo, el muro se reforzó con una serie de contrafuertes hacia aguas arriba. También se han encontrado vestigios de la existencia de contrafuertes en el muro hacia aguas abajo.

La presa cuenta con dos torres de toma, estructuras de planta cuadrada adosadas por uno de sus lados al muro, aguas abajo de éste. Una de ellas se ubica hacia el centro de la presa, y corresponde a una toma profunda (sin posibilidad de conexión, por cota, con el acueducto) o desagüe de fondo de la presa, asociadas a la cual se encontraron por un lado unas tuberías de plomo de factura típicamente romana, y por otro una galería profunda que atraviesa el espaldón (Martín Morales, Aranda Gutiérrez *et al.*; 2003). La otra torre de toma se sitúa en el estribo izquierdo de la presa, y es la que alojaba la toma de la conducción a Mérida.

En su configuración actual, la presa de Proserpina tiene una altura sobre cimientos de unos 22 m y una longitud en coronación de unos 440 m. El embalse creado tiene una capacidad de 5 hm^3. Su cuenca propia de aportación es de 9,81 km^2, a los que se añaden 15,24 m^2 del canal alimentador, con lo que la aportación media anual está en torno a los 1,5 hm^3.

Aprovechando un periodo de vaciado del embalse entre los años 1991 y 1996, y una serie de actuaciones asociadas de reparación de la presa que se extendieron hasta 1999, sobre la presa de Proserpina se realizaron amplios estudios, de forma que podemos considerar que es una de las presas romanas mejor conocidas (Aranda Gutiérrez y Sánchez Carcaboso, 2002).

No podemos entrar aquí ni siquiera a resumir los estudios realizados, que en su mayor parte están recogidos en un documento denominado «Caracterización histórica, funcional y constructiva del sistema hidráulico de Proserpina» aunque cabe destacar que con carácter general, los resultados obtenidos confirman claramente el origen romano de la presa.

En concreto, se realizaron tres dataciones por carbono 14, una de ellas sobre los pólenes presentes en los sedimentos del fondo del embalse, otra sobre una astilla de madera encontrada en uno de los sondeos realizados en el hormigón romano del muro, y la otra sobre una pieza troncocónica de madera encontrada junto a las tuberías de plomo, que sin duda servía para obturar una de ellas. Las tres dataciones fueron realizadas en tres instituciones distintas (Universidad de Toronto, Universidad de Groningen y Centro Superior de Investigaciones Científicas) y en todos los casos los resultados obtenidos nos sitúan en la época romana (siglo II d.C.).

En cualquier caso, el mayor argumento a favor de la romanidad de Proserpina es mucho más simple. Sencillamente, si la presa no es romana, la conducción de Los Milagros (cuyo origen romano nadie pone en duda) no tiene ningún sentido.

La presa de Cornalbo tiene una estructura más compleja, y hasta fechas recientes no muy bien conocida. Simplificando mucho, cabe decir que en este caso tenemos aguas arriba un muro vertical (de principios del siglo XX) y restos de otros dos, con los espacios intermedios entre estos muros rellenos de tierras, existiendo también vestigios de la existencia de otros muros transversales a los anteriores, que crearían una retícula, mientras que aguas abajo nos encontramos también un espaldón de tierras.

La presa cuenta con una torre de toma, de planta cuadrada y aspecto típicamente romano (sillería almohadillada) que en este caso está exenta a la presa, situándose dentro del embalse. Probablemente esta diferente ubicación de la torre de toma respecto a Proserpina responda al hecho, antes comentado, de que en aquel caso la presa y el acueducto fueron de simultánea construcción, mientras que en éste la conducción es anterior a la presa (Martín Morales, Arenillas Parra *et al.*; 2000 y 2002).

Actualmente, la presa de Cornalbo tiene una altura sobre cimientos de unos 24 m y una longitud en coronación de unos 200 m. El embalse creado podría llegar hasta unos 10 hm^3, pero por razones de seguri-

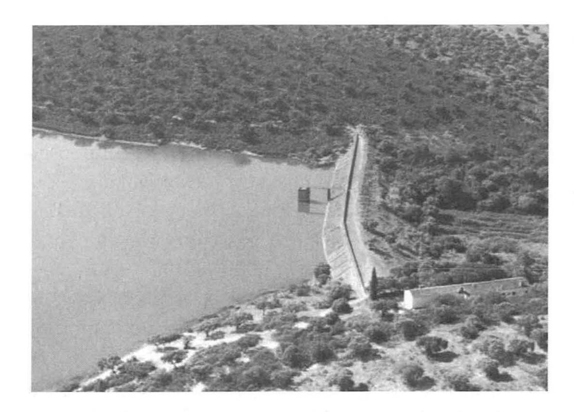


Figura 8
Presa y embalse de Cornalbo en la actualidad. Se aprecia la torre de toma, parcialmente sumergida en el embalse

dad de la presa se limita en la práctica a unos 3 hm^3. La cuenca propia de aportación es de 6,70 km^2, a los que se añaden 19,80 km^2 del canal alimentador, con lo que la aportación media anual está en torno a una cifra similar a la de Proserpina, unos 1,5 hm^3.

Sobre la presa de Cornalbo, la Confederación Hidrográfica del Guadiana está realizando una serie de estudios, todavía no finalizados, que se espera puedan aportar datos de interés sobre la misma, así como servir de base al diseño de unas necesarias actuaciones de rehabilitación de la presa (Aranda Gutiérrez *et al.;* 2005).

Otros suministros romanos desde presas

Aunque quizá los más conocidos, los de Proserpina y Cornalbo no fueron los únicos sistemas romanos de abastecimiento donde se utilizaron presas. Es cierto que los casos no son demasiado abundantes, seguramente por la gran complejidad y el enorme coste de estas obras, que debieron emplearse sólo cuando otras fuentes de abastecimiento no existían o eran insuficientes (caso de Mérida).

Comenzaremos por el sistema de abastecimiento romano de la propia Roma, bien conocido gracias a la obra de S. J. Frontino, «*De aquaductibus urbis Romae*». La urbe llegó a contar con 11 acueductos, 9 de los cuales existían ya en la época de Frontino. Las aguas captadas por los mismos procedían, por lo general, de fuentes o manantiales, excepto en tres casos; el «*Aqua Alsietina*» que tomaba del lago *Alsietino*, y los acueductos conocidos como «*Anio Vetus*», (época republicana, hacia el 272 a.C.) y «*Anio Novus*» (comenzado bajo Calígula y terminado bajo Claudio, hacia el 50 d.C.) cuyo origen era, en ambos casos, el río *Anio*.

Las aguas del *Anio Novus* tenían a veces una calidad deficiente por los arrastres del río, por lo que Frontino nos cuenta que Trajano ordenó el traslado de su toma hasta un embalse para mejorar de esta manera la calidad de las aguas de esta conducción, mejora debida al efecto de decantación inducido por el embalse.

El embalse en cuestión era uno de los tres creados por otras tantas presas, conocidas como las presas de *Subiaco* cuya construcción había sido ordenada por el emperador Nerón, propietario de una gran finca en la zona, para utilizar los embalses con fines meramente recreativos.

Nos encontramos ya con la toma de un acueducto romano en una presa de gran tamaño, toma que se realiza precisamente para mejorar la calidad de las aguas de dicho acueducto. Creemos que las implicaciones de este hecho respecto del tema general tratado en este artículo no precisan mayores comentarios.

Dejando aparte a Hispania, de momento, en varias provincias del Imperio, concretamente en el Este y en el Norte de África, nos encontramos con varios casos de presas romanas sobre las que existe un consenso generalizado entre los investigadores del tema en el sentido de que, entre otros posibles usos, estaba indudablemente el del abastecimiento a poblaciones.

Como ejemplo muy significativo podemos citar el abastecimiento de la importante ciudad de *Leptis Magna*, cuna del emperador Septimio Severo (actual Labdah, en Libia) en cuyo entorno se ha localizado gran número de presas romanas, dos de las cuales, las de Wadi Lebda y Wadi Caam, abastecían a la ciudad.

En la Hispania romana existían numerosas presas y azudes, gran parte de las cuales parecen estar asociadas al abastecimiento, tanto de ciudades como de pequeños asentamientos rurales, en este último caso compartiendo este uso con el agrícola.

El que quizá sea el más famoso acueducto romano en España, el de Segovia, tomaba mediante el azud denominado «de Riofrío», o «del arroyo Acebeda» en la vertiente Norte de la sierra de Guadarrama.

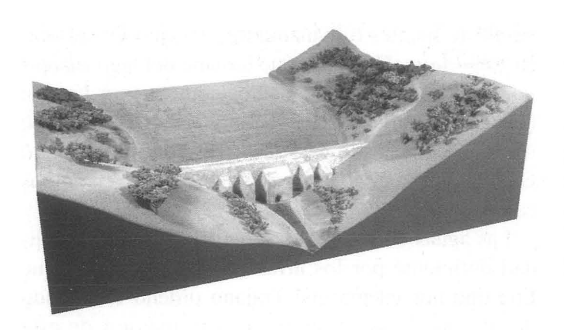


Figura 9
Maqueta de la presa de abastecimiento a *Olisipo,* en el Museo Nacional de Arqueología de Portugal (fuente: Fundació Agbar, 2004)

Abastecimientos romanos con origen en presas de cierto tamaño, donde además de facilitarse la derivación del cauce sería apreciable el efecto de regulación originado por el embalse, son los de Andelos (Navarra) desde la presa de Iturranduz Consuegra (la antigua *Consaburum*, en la provincia de Toledo) desde la presa del mismo nombre o Arevalillo (Ávila) desde la presa del Arévalo.

Muy interesante resulta también el abastecimiento de *Olisipo*, la Lisboa romana, que se efectuaba desde los manantiales actualmente conocidos como «Aguas libres», con una regulación en cabecera realizada mediante la presa de *Olisipo*. Resulta muy significativo que se considerara necesaria esta regulación de los caudales aportados por los manantiales.

Mención aparte merece también el abastecimiento urbano a *Toletum*, la Toledo romana, desde la presa de la Alcantarilla, presa que como veremos presenta enormes similitudes con la de Proserpina, entre ellas un esquema de tomas similar. Es de esperar que en breve se tengan mayores datos sobre este sistema hidráulico romano, gracias a los trabajos en realización por la Confederación Hidrográfica del Tajo con la colaboración de la empresa Ingeniería 75.

Consideraciones relativas a las fábricas de las presas

Lo primero que hay que tener presente a la hora de hablar de las presas de Proserpina y Cornalbo es que las mismas han sido objeto de una utilización muy amplia a lo largo de la historia (en general, con usos diferentes a los originales) estando ambas presas actualmente en servicio y siendo explotadas por la Confederación Hidrográfica del Guadiana. Esta circunstancia ha implicado necesariamente numerosas actuaciones de mantenimiento y conservación, de diversa amplitud, algunas de ellas bien documentadas y otras no documentadas en absoluto (Martín Morales, Aranda Gutiérrez *et al.*; 2000).

Por lo tanto, el estado actual de ambas presas es la consecuencia de toda esa serie de actuaciones, por lo que en realidad no cabe hablar de «presas romanas» sino de «presas de origen romano». Esto es especialmente cierto en el caso de la presa de Cornalbo, que fue casi completamente reconstruida a principios del siglo XX, hasta el punto de que el único elemento romano visible en la actualidad es la torre de toma.

En el caso de Proserpina, la fábrica de la parte inferior de la presa presenta, efectivamente, una calidad inferior a la sillería romana «clasica» que podemos contemplar en otros monumentos, con sillares heterogéneos e hiladas irregulares. Desde luego, como cita Feijoo (Feijoo, 2005 y 2006) esta fábrica es muy distinta de la del acueducto de los Milagros, pero deducir de ello que no es romana, nos parece muy aventurado.

El acueducto de Los Milagros se situaba ya casi en la ciudad, por lo que además de su utilidad práctica,



Figura 10
Aspecto de las fábricas de la zona inferior de la presa de Proserpina

se buscaba expresamente una monumentalidad, lo que entre otras cosas implicaría el uso de fábricas muy cuidadas. Sin embargo, la misma conducción tiene varios acueductos más pequeños y alejados tanto de la ciudad como de vías de comunicación principales, en cuyos restos se observan también fábricas de un aspecto mucho más descuidado.

Pensamos que, por una pura cuestión de optimización de recursos, para un paramento que iba a estar prácticamente siempre oculto por las aguas, como el de la parte inferior de la presa de Proserpina, no se utilizarían precisamente las fábricas más cuidadas.

Por otra parte, hay que tener muy en cuenta que el revestimiento de sillería del paramento exterior del muro de la presa es sólo una pequeña parte de éste. Tras dicho revestimiento, hay un espesor de unos 6 metros de «calicanto» u hormigón romano, hecho constatado por los sondeos horizontales realizados a embalse vacío (uno de dichos sondeos fue el que aportó la astilla de madera calibrada por C-14). El hormigón romano es un material bastante bien caracterizado, diferenciándose apreciablemente de los calicantos medievales.

Uno de los autores que más ha estudiado los hormigones romanos, H.O. Lamprecht, no duda en incluir entre ellos a los de las presas de Proserpina y la Alcantarilla (Lamprecht, 1996).

Precisamente la presa de la Alcantarilla, ofrece una muestra visible de la estructura interna de su muro pantalla, ya que al estar rota por vuelco de éste hacia aguas arriba, se puede ver perfectamente su sección, que es similar a la de Proserpina, apreciándose cómo el revestimiento de sillería del muro no es sino una capa relativamente pequeña, en comparación con el espesor total, capa que aquí ha desaparecido en su mayor parte, por la reutilización de los sillares en obras posteriores.

Por tanto, pensamos que una interpretación subjetiva, del mero aspecto de la fábrica de la zona inferior de la presa de Proserpina no es argumento válido en absoluto para inferir un origen no romano para esta presa.

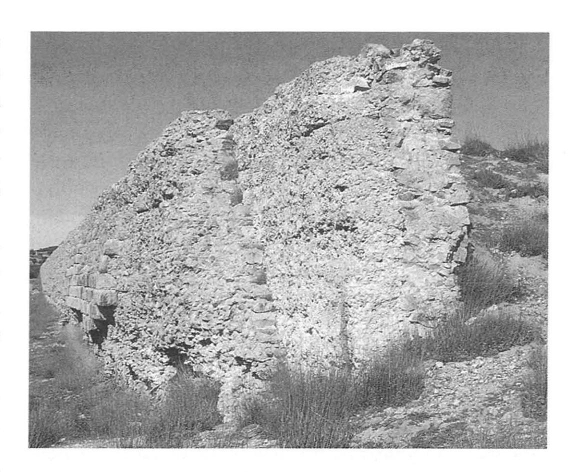


Figura 12
Presa de la Alcantarilla (restos del estribo izquierdo) mostrando su sección constructiva, en la que se aprecian restos del paramento de sillería, tres capas de calicanto y el espaldón de tierras

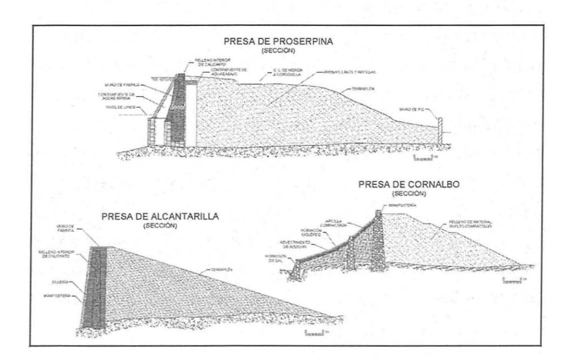


Figura 11
Secciones de las presas de Proserpina, Cornalbo y La Alcantarilla (fuente: Miguel Arenillas)

Consideraciones cuantitativas del suministro

La estimación de los consumos de agua en las ciudades de la antigüedad es un problema bastante complejo, pues hay pocos datos documentales, y los que existen no son en absoluto fiables. En efecto, los romanos establecían una asociación directa entre la superficie mojada de una conducción y el caudal, sin considerar el efecto de la variación de la velocidad.

Así por ejemplo, S.J. Frontino en su obra sobre los acueductos de Roma (Frontino, S II) nos da unas cifras de caudal, que traducidas a unidades del sistema métrico nos resultan realmente exageradas, pero que hay que tomar tan solo como meramente orientativas por la razón antes citada.

Cuando existen restos arqueológicos suficientes para establecer una sección tipo y obtener la pendiente de la conducción, lo que es relativamente frecuente, se puede calcular la capacidad de transporte de los acueductos en unas hipótesis medias de funcionamiento, pero asumir sin más que éste era el caudal habitualmente aportado por la conducción a la ciudad, como suele hacerse, presupone una disponibilidad continua del recurso que normalmente no se daría. En el caso de Mérida este método nos llevaría a unas cifras enormes, absolutamente desproporcionadas.

La estimación de la población de las ciudades también resulta problemática, pudiendo realizarse a partir de un estudio de las superficies ocupadas por las ciudades, o incluso de los aforos de los edificios destinados a espectáculos públicos.

En cualquier caso, con los escasos datos disponibles, y hechas todas las salvedades indicadas, por lo general se obtienen dotaciones realmente muy elevadas, casi exorbitantes, de acuerdo a las normas actuales.

Ante este hecho cabe hacer algunos importantes comentarios. En primer lugar señalar que el uso que se hace del agua viene condicionado, lógicamente, por la mayor o menor disponibilidad del recurso. Si éste está asegurado, su empleo va siendo cada vez mayor, pasándose de la satisfacción de las necesidades primarias al disfrute de lo que podríamos llegar a considerar «lujos», tales como establecimientos de baños, fuentes ornamentales, riego de huertos y jardines urbanos, etc. Y es bien conocido que las grandes urbes romanas disfrutaban, desde luego, de dichos lujos.

En segundo lugar, la naturaleza de las conducciones romanas, básicamente conducciones en lámina libre (salvo en los sifones, en caso de existir) implica un sistema de explotación bastante rígido, en cuanto a que la modificación de los caudales circulantes es compleja, pues supone tener que actuar en la cabeza de la conducción, que podía estar situada a una gran distancia de la ciudad. Por lo que lo normal sería que el caudal circulante fuera más o menos constante.

De hecho, para la mentalidad romana primitiva, una conducción de agua no debía ser sino el traslado de un manantial desde su situación natural hasta la ciudad. Los manantiales fluyen libremente, luego lo mismo debía ocurrir con los acueductos, incluso cuando el origen de estos ya no eran manantiales. Hay que tener en cuenta que el agua sobrante «*aqua caduca*» se incorporaba al sistema de saneamiento, contribuyendo al mejor funcionamiento de éste (Frontino, S II).

Finalmente, no debemos olvidar que dado el estado de la tecnología y materiales con los que contaban los romanos, las pérdidas por filtraciones, roturas, etc. en las conducciones y redes de distribución debían alcanzar cifras importantes como nos confirma Frontino. De hecho, en nuestros días, la lucha contra tales pérdidas mediante un adecuado mantenimiento de las redes, es uno de los empeños principales de los encargados de suministros hidráulicos, sean para abastecimiento o para otros usos.

Hechas todas estas salvedades, podemos aportar los datos de algunas ciudades romanas, lo que realizaremos en la tabla final de este apartado, comparándolas con los datos resultantes para los sistemas hidráulicos emeritenses, cuyas posibilidades hídricas expondremos a continuación.

Las aportaciones de los sistemas de captación de aguas subálveas pueden ser estimados a partir de los aforos existentes desde el siglo XIX de parte del sistema de Rabo de Buey-San Lázaro (ramal de las Arquitas, quizá con algún aporte del de Casa Herrera) resultando una aportación específica de aproximadamente 1 l/s por cada km^2 de cuenca aportadora. Superficiadas estas, resultan 16 l/s para el sistema completo Rabo de Buey-San Lázaro, y de 31 l/s para la conducción subálvea de Cornalbo. En total, las captaciones subálveas podrían aportar por tanto unos 47 l/s.

Las aportaciones medias de los embalses se pueden estimar con gran exactitud, debido a que existen series históricas de datos, al estar ambos en explotación. En ambos casos, hablando de datos medios anuales, tenemos aportaciones en torno a 1,5 hm^3, y evaporaciones en torno a los 0,6 hm^3, por lo que el volumen aprovechable sería de unos 0,9 hm^3, lo que representa un caudal continuo de casi 29 l/s desde cada presa, en total 57 l/s más.

Por tanto, con las tres conducciones en servicio, incluyendo las dos presas, se llegaría a unos 104 l/s, con lo que se obtienen unas dotaciones (para la población de entre 20.000 y 30.000 habitantes antes indicada) que resultan estar en el límite inferior de las que resultan para otras ciudades romanas, confirmándose así la necesidad de los tres sistemas emeritenses funcionando simultáneamente, con sus dos presas, las cuales proporcionaban algo más de la mitad del agua aportada, todo lo cual se muestra en las tablas adjuntas.

El origen del agua de abastecimiento en *Augusta Emerita*, datos cuantitativos

		DATOS MEDIOS ANUALES				
Cuenca	Sup. (km^2)	Agua total precipitada (*) (hm^3)	Aportación anual captable (hm^3)	Ratio agua captable/ precipitada	Aportación anual aprovechable (hm^3)	Caudal (l/s)
			1. CAPTACIÓN EN EMBALSE			
Proserpina	25,05	13,15	1,46	11,10%	0,89	28,22
Cornalbo	26,50	13,91	1,49	10,71%	0,92	29,17
T. EMBALSES	**51,55**	**27,06**	**3,00**	**11,08%**	**1,81**	**57,39**
			2. CAPTACIONES SUBÁLVEAS			
Cornalbo	32,30	16,96	0,98	5,78%	0,98	31,06
R.Buey-S.L.	16,41	8,62	0,50	5,78%	0,50	15,78
T. SUBALVS.	**48,71**	**25,57**	**1,48**	**5,78%**	**1,48**	**46,84**
			3. CONJUNTO			
TOTAL	**100,26**	**52,64**	**4,43**	**8,41 %**	**3,29**	**104,23**

(*) Considerando una precipitación media anual de 525 mm.

Dotación teórica resultante para varias ciudades romanas, según los estudios de diversos autores.

Ciudad	Número de habitantes	Número de acueductos	Caudal (l/s)	Caudal (m^3/día)	Dotación (l/h-d)	Fuente
ROMA	1.000.000	9	8.102 a 11.574	700.00 a 1.000.000	700 a 1.000	Datos de Frontino, interpretados por T. Hodge (Hogde, 1985)
TOLEDO	20.000	1	100	8.640	432	Aranda Gutiérrez, Carrobles Santos *et al.*, 1997
CÓRDOBA	23.000 a 50.000	2	380	32.832	1.400 a 660	Ventura Villanueva, 1996
POMPEYA	8.000	1	75	6.480	810 (500)	Eschebach (citado por Ventura) 1983
NIMES	50.000	1	400	35.000	690	Fabré, Fiches *et al.*, 2005
MÉRIDA, sólo Cornalbo sin presa	20.000 a 30.000	1	31	2.700	133 a 90	Elaboración propia
MÉRIDA, Cornalbo sin presa y Rabo de Buey-S.L.	20.000 a 30.000	2	47	4.000	203 a 135	Elaboración propia
MÉRIDA, los 3 acueductos con las dos presas	20.000 a 30.000	3	104	9.000	449 a 300	Elaboración propia

Consideraciones cualitativas del suministro

Acabamos de ver que gracias a las presas, la Mérida romana pudo llegar a tener agua en una cantidad comparable a la de otras ciudades romanas. Vamos a ver ahora si las condiciones de calidad de éstas aguas embalsadas las harían aptas para el consumo humano en aquella época, para poder valorar el argumento de que las aguas embalsadas no serían aprovechables para el suministro urbano en la antigüedad.

La realidad, desde luego, no es ni mucho menos tan simple. Aguas embalsadas no son sinónimo de aguas insalubres, ni estancadas. Si un embalse tiene una profundidad suficiente, las variaciones de la temperatura del agua debidas a la climatología se amortiguan rápidamente con la profundidad, siendo esta amortiguación prácticamente total a partir de los 10 metros. Como es conocido, a mayor temperatura corresponde una menor densidad, por lo que las aguas más cálidas tienden a estar en la superficie.

Por tanto, durante el verano, en el que la superficie del embalse se calienta por efecto de la radiación solar, las aguas del embalse se estratifican en una capa superior templada, llamada «epilimnio», una zona intermedia llamada «mesolimnio», donde se produce un cambio rápido de temperatura (a la curva que relaciona la profundidad y la temperatura en esta zona se le denomina «termoclina») y una zona inferior fría, denominada «hipolimnio», cuyas aguas están prácticamente aislada de los procesos superficiales, manteniendo unas características bastante constantes.

En invierno, la capa superior pierde temperatura, ganando densidad y haciendo posible su mezcla, por lo que la temperatura del agua tiende a homogeneizarse en valores en torno a los 4º. En estas circunstancias, factores externos como aportaciones y salidas de agua, viento, corrientes . . . pueden producir una mezcla de las aguas, homogeneizando así también su calidad.

Como las aportaciones de agua se suelen producir precisamente en la estación fría, y suelen ser aguas de buena calidad aunque ocasionalmente de cierta turbidez (al ser procedentes de la escorrentía generada por las precipitaciones) estas aguas de nueva entrada en el embalse se reparten por el mismo, entrando en juego diversos mecanismos de autodepuración.

La acción autodepurativa de los ríos, mediante la actividad metabólica de los organismos presentes en sus aguas, que realizan la descomposición de la materia orgánica, proceso en el que es fundamental el aporte de oxígeno, es bien conocida.

En los embalses, esta acción autodepurativa se ve potenciada por otros fenómenos, entre los que cabe citar la dilución, por mezcla de aguas de diversa calidad, y la «dilución equivalente», que consiste en una serie de fenómenos que actúan de forma análoga a la dilución, mejorando la calidad de las aguas embalsadas.

Uno de los fenómenos que causa esta dilución equivalente es la decantación, es decir, la precipitación de las materias sedimentables, que además de restar turbidez al agua, produce un descenso del número de bacterias presentes, ya que estas también son en gran medida arrastradas al fondo conjuntamente con las partículas sedimentables. Otro fenómeno responsable de la dilución equivalente en un embalse es la radiación solar, que tiene un importante efecto bactericida.

Todo ello nos indica que si la carga contaminante aportada a un embalse es moderada, el efecto autodepurador del mismo es capaz de preservar unas condiciones de calidad adecuadas en sus aguas.

Por otra parte, en la actualidad existen técnicas que permiten realizar una depuración del agua consiguiendo que estas sean potables, aunque la calidad inicial de las mismas sea bastante deficiente.

En la época romana, y prácticamente hasta la segunda mitad del siglo XIX, el único tratamiento que prácticamente cabía dar a las aguas era un tratamiento puramente físico, consistente en la decantación y filtración. Evidentemente, esto no era suficiente para eliminar los gérmenes patógenos que eventualmente podían acompañar al agua con desastrosos efectos.

La cuestión que se plantea, por tanto, es si en ausencia de esta desinfección y de tratamientos avanzados de depuración, las aguas embalsadas podrían ser utilizadas para el suministro urbano. La respuesta a esta cuestión puede ser afirmativa, sobre todo si, como resulta razonable, se hubieran establecido unas precauciones elementales para preservar a los embalses de contaminación externa en todo lo posible.

Esta respuesta afirmativa viene avalada por el análisis de los datos actuales de calidad de las aguas de los embalses de Proserpina y Cornalbo, ya que la circunstancia de que ambas presas lleven bastante tiempo en explotación por la Confederación Hidrográfica

Resultados de los controles de calidad de las aguas de los embalses de Proserpina y Cornalbo y su comparación con los límites para aguas prepotables A1 (la mayor calidad). En rojo y regruesados los valores que sobrepasan dichos límites

Parámetros	Prepotables A1		Año 2005			
			Junio		Diciembre	
	Límite	UD.	Proserpina	Cornalbo	Proserpina	Cornalbo
Temperatura Agua	25	°C	27,2	28,3	10,6	9,7
CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS						
Color	20	U.Pt	10	7	11	7
CARACTERÍSTICAS FISICO-QUÍMICAS						
Conductividad 20°C	1000	µS/cm	265	138	292	173
pH	6,5–8,5	pH	8,8	7,8	7,9	7,6
Materias en Suspensión	25	mg/L	2	6	31	20
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS						
Cloruros	200	mg/L Cl-	20,3	13,7	22,5	17,3
Sulfatos	250	mg/L SO4=	14,8	9,2	15	10,9
Nitratos	50	mg/L NO3–	< 0,5	<0,5	< 0,5	<0,5
Fosfatos	0,4	mg/L PO4–3	3,33	0,03	< 0,01	<0,01
Fluoruros	1,5	mg/L F-	0,36	0,12	0,46	0,17
Boro	1	mg/L B		<0,05		<0,05
Cianuros	0,05	mg/L CN-	< 0,01	<0,01	< 0,01	<0,01
Cromo	0,05	mg/L Cr	< 0,02	<0,020	< 0,02	<0,020
Manganeso	0,05	mg/L Mn	< 0,05	<0,05	< 0,05	<0,05
Hierro	0,3	mg/L Fe	< 0,05	0,05	< 0,05	0,05
Cobre	0,05	mg/L Cu	< 0,02	<0,02	< 0,02	<0,02
Cinc	3	mg/L Zn	< 0,05	<0,05	< 0,05	<0,05
Arsénico	0,05	mg/L As	< 0,02	<0,02	< 0,02	<0,02
Cadmio	0,005	mg/L Cd	< 0,02	<0,020	< 0,02	<0,020
Mercurio	0,001	mg/L Hg	< 0,00002	<0,00002	0,00004	<0,00002
Bario	0,1	mg/L Ba		<0,05		0,05
Plomo	0,05	mg/L Pb	< 0,02	<0,02	< 0,02	<0,02
Selenio	0,01	mg/L Se		<0,03		<0,03
CARACTERÍSTICAS QUIMICO-BIOLÓGICAS						
Ox.Dto %	>70	% Satur.	118	114,6	82,6	94,1
D.B.O. 5d	3	mg/L O2	1,3	1,1	7,6	1,3
Fenoles	0,001	Mg/L C6H5O	< 0,001	0,001	< 0,001	<0,001
H.A.P.	0,0002	mg/L		<0,00002		<0,00002
Plaguicidas totales	0,001	mg/L		<0,0001		<0,0001
Amonio	0,05	mg/L NH4+	0,01	0,01	0,32	0,01
CARACTERÍSTICAS BACTERIOLOGICAS						
Coliformes totales	50	UFC/100mL	1.000	7.900	5.600.000	11.000
Coliformes fecales	20	UFC/100mL		3		0
Estreptococos fecales	20	UFC/100mL		24		650
Salmonellas	AUSENTE	Ml		AUSENTE		AUSENTE

del Guadiana, permite que se cuente con abundantes datos de calidad de sus aguas, que se muestran en la tabla adjunta.

Evidentemente, el caso de ambos embalses es muy diferente, pues mientras en el de Proserpina la presión urbanística descontrolada hace que la influencia antrópica sea muy grande, el de Cornalbo cuenta con un entorno realmente privilegiado, hasta el punto de que ha sido declarado Parque Natural por la Junta de Extremadura, situación que en este caso sí sería bastante comparable a la que pudiera darse en ambos embalses en la época romana.

Nos centraremos por tanto en los datos analíticos del embalse de Cornalbo, que junto con los de Proserpina se exponen en la tabla siguiente, correspondiente a dos momentos del año 2005, que fue un año de relativa sequía, siendo de esperar por este motivo mayores concentraciones de los elementos contaminantes.

Como vemos, la calidad general de las aguas del embalse de Cornalbo es buena, hasta el punto que sus aguas casi podrían entrar dentro del grupo de aguas prepotables tipo A1, que es el de mayor calidad entre los establecidos por la vigente normativa española de aguas, y para el cual los tratamientos de potabilización precisos se limitan a un tratamiento físico simple y a la desinfección, ésta última obligatoria, lógicamente, en todos los casos (estamos hablando de la actualidad, no la época romana).

Puede apreciarse que se escapa de los parámetros máximos del grupo A1 la concentración de coliformes totales, si bien no existen, o son mínimos, los coliformes de origen fecal. Esto nos muestra que no existen vertidos de aguas residuales al embalse (que aportarían los coliformes fecales) y que lo que sí existen son explotaciones ganaderas (que aportan los coliformes no fecales).

Si en la época romana se hubieran limitado las explotaciones ganaderas en el entorno de los embalses, cosa bastante factible, la calidad de sus aguas hubiera podido llegar a ser bastante alta.

En cualquier caso, resulta claro que estas aguas serían perfectamente adecuadas para el suministro urbano en la antigüedad (como dato anecdótico cabe decir que en Mérida viven todavía muchas personas que ocasionalmente bebían aguas brutas de los embalses de Proserpina y Cornalbo). Por lo que tenemos que concluir que el argumento principal del Sr. Feijoo se revela erróneo.

LISTA DE REFERENCIAS

Álvarez Martínez, J. Mª. *et al.* 2002. «Arqueología de las presas romanas de España: los embalses de *Emerita Augusta* y de sus alrededeores. Estado de la cuestión», *Actas del I Congreso Nacional de Historia de las Presas (Mérida, Noviembre 2000).* T. I, Badajoz, [Departamento de publicaciones de la Dip. Provincial de Badajoz]: 199 a 226.

Almeida D. F. 1969. «Sobre a barragem romana de *Olisipo* e seu acueducto.» *O Arqueologo Portugues*: pp. 179 a 189.

Aranda Gutiérrez, F. *et al.* 1997. *El sistema hidráulico romano de abastecimiento a Toledo,* Toledo, Instituto Provincial de Investigaciones y Estudios Toledanos. Dip. Provincial de Toledo.

Aranda Gutiérrez, F. y J. L. Sánchez Carcaboso. 2002. «Las grandes desconocidas entre las presas romanas principales: la Alcantarilla y Cornalbo», *Actas del I Congreso Nacional de Historia de las Presas (Mérida, Noviembre 2000).* T. I, Badajoz, [Departamento de publicaciones de la Diputación Provincial de Badajoz]: pp. 267 a 278.

Aranda Gutiérrez, F., *et al.* 2005. «Trabajos de caracterización de la presa de Cornalbo», *Actas del II Congreso Nacional de Historia de las Presas (Burgos, Octubre 2005).*

Aranda Gutiérrez, F. *et al.* 2006). *Las presas de abastecimiento en el marco de la ingeniería hidráulica romana. Los casos de Proserpina y Cornalbo,* (en prensa).

Castillo Barranco, J. C. 2001. *Tipologías y Materiales de las presas romanas en España.*[Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, U.P.M]. (Tesis doctoral inédita).

Confederación Hidrográfica del Guadiana e Ingeniería 75. 1996. *Estudio de caracterización histórica, funcional y constructiva de la presa romana de Proserpina.*_

Confederación Hidrográfica del Guadiana e Ingeniería 75. 1997. *Estudio de caracterización histórica, funcional y constructiva de las conducciones romanas de Mérida.*

Eschebach, H. S. 1983. *Die Oeffentlichen Laufbrunnen Pompejis. Katalog Und Beschreibung.*

Fabre, G., Fiches, J.-L. *et al.* (2005. «Vida y muerte del acueducto de Nimes», *Investigación y Ciencia (Abril 2005,* pp. 40 a 48.

Feijoo Martínez, S. 2005. «Las presas y los acueductos de agua potable, una asociación incompatible en la antigüedad: El abastecimiento en *Augusta Emerita*» en Nogales, T. (ed.), «*Augusta Emerita.Territorios, Espacios, Imágenes y Gentes en Lusitania Romana*, [Monografías Emeritenses, 8], Mérida: pp. 172 a 205.

—2006. «Las presas y el agua potable en época romana, dudas y certezas» *Actas del III Congreso de Obras Públicas Romanas»* [Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas], Astorga: pp. 145 a 166.

Fernández Casado, C. 1972. *Acueductos romanos en España*, Madrid

—1985. *Ingeniería hidráulica romana* [Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y Ediciones Turner], Madrid.

Frontino, S. J. S.II. *Los acueductos de Roma* [Consejo Superior de Investigaciones Científicas, ed. 1985], Madrid.

Fundació Agbar, M. d. l. A. 2004. *AQVA ROMANA. Técnica humana y fuerza divina* [Museo de las aguas de la fundación Agbar].

González Tascón, I. 2002. «La ingeniería civil romana», *ARTIFEX Ingeniería romana en España*, [Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Secretaría de Estado de Cultura]: pp. 33 a 176.

Hiernard, J. y Álvarez Martínez J. Mª 1982. «*AQVA AUGVSTA*. Una inscripción con letras de bronce de Mérida», *Santuola* III: p. 221.

Jimenez, A. 1976. «Los acueductos de Mérida», en *Augusta Emerita. Actas del Bimilenario de Mérida*, Madrid: pp.111 a 125.

Lamprecht, H. O. 1996. *Opus Caementitium. Bautechnik der Römer*, Düsseldorf, Beton-Verlag.

Malissard, A. 1996. *Los romanos y el agua. La cultura del agua en la Roma antigua,* Barcelona.

Martin Morales, J; Aranda Gutiérrez, F; *et al.* 2002. «Las presas históricas de Mérida, actuaciones de conservación», *Actas del I Congreso Nacional de Historia de las Presas (Mérida, Noviembre 2000)*. T. I, Badajoz, [Departamento de publicaciones de la Diputación Provincial de Badajoz]

—2003. «El sistema hidráulico de la toma profunda de la presa de Proserpina», *Mérida, Ciudad y Patrimonio, Revista de Arqueología, Arte y Urbanismo*, 2001, nº 5, Mérida: pp. 119 a 127.

Martín Morales, J. B.; Arenillas Parra, M. *et al.* 2000. «El sistema hidráulico de Cornalbo en Mérida», *Actas del III Congreso Nacional de Historia de la Construcción,* Sevilla.

—2002. «La presa de Cornalbo en Mérida», *Actas del I Congreso Nacional de Historia de las Presas (Mérida, Noviembre 2000)*. T.I, Badajoz, [Departamento de publicaciones de la Diputación Provincial de Badajoz]: pp. 279 a 287.

Polo García, M. E.; Gutiérrez Gallego, J. A. *et al.* 1999. «Pendientes topográficas en acueductos romanos. Dos casos extremos: la conducción de Toledo y la de Proserpina en Mérida», *Mérida, Ciudad y Patrimonio, Revista de Arqueología, Arte y Urbanismo*, nº 3, Mérida: pp. 105 a 113.

Schnitter, N. J. 1994. *Historia de las presas. Las pirámides útiles,* [Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.] Madrid.

Smith, N. A. F. 1978. «Tecnología hidráulica romana», *Scientific American* (julio 1978), pp 88 a 95.

Ventura Villanueva, Á. 1996. *El abastecimiento de agua a la Córdoba romana II. Acueductos, ciclo de distribución y urbanismo* (Universidad de Córdoba), Córdoba.

Apuntes documentales para la historia de la presa de Cornalvo

Miguel Arenillas Parra
Marisa Barahona Oviedo
Carmen Díaz-Guerra Jaén

La presa de Cornalvo,[1] de origen romano, según se desprende de su conexión con uno de los sistemas de conducción de agua a Mérida —el Aqua Augusta—, construido en esa época, de la fábrica de la torre de toma e, incluso, como veremos, de su propia estructura, se encuentra en la actualidad completamente enmascarada por la importante rehabilitación que se llevó a cabo en las primeras décadas del siglo pasado y que supuso la ocultación de las fábricas originales bajo los revestimientos y rellenos que entonces se dispusieron. No obstante, la tipología estructural de la obra romana se sigue manteniendo en la obra actual: la presa de Cornalvo ha sido siempre una presa de tierras (el gran caballón o terraplén de aguas abajo) con pantalla impermeable aguas arriba. Precisamente esta pantalla —y en particular, su apariencia exterior— es la que se modificó sustancialmente durante la rehabilitación; el terraplén sólo se reparó para restablecer, en la práctica, su forma original.

El sistema hidráulico al que pertenece la presa de Cornalvo[2] es similar, tanto por su planteamiento —canal alimentador, presa de embalse y canal de derivación—, como por la tipología de la presa, al de Proserpina, también en Mérida, y, en cierta medida, al de La Alcantarilla, en Toledo;[3] sin embargo, la pantalla de Cornalvo presenta particularidades en su concepción. En primer lugar, su pantalla no se ajusta al modelo de muro-pantalla estricto (consistente en dos paños de mampostería con un núcleo de hormigón de cal entre ellos, con el que se consigue el necesario efecto impermeabilizador) usado por los romanos en otras muchas presas. En este caso la pantalla se convierte en un gran macizo de hormigón de cal, vertical hacia el terraplén y escalonado hacia el embalse, de bastante mayor espesor que en Proserpina y La Alcantarilla, y similar, como veremos, a las soluciones adoptadas por los romanos en otras grandes presas exclusivamente de fábrica: las de Almonacid de la Cuba (Arenillas, Díaz-Guerra y Cortés 1996a, Arenillas et al 1996b) y, especialmente, Muel (Arenillas et al 2005b), ambas en el valle del Ebro. Del detalle de esta estructura y de las semejanzas anotadas nos ocuparemos más adelante. Además, en la presa de Cornalvo, los romanos completaron el sector principal de la pantalla con un bloque inferior, formado por una serie de muros en cuadrícula, que una errónea interpretación reciente ha conducido a la *estructura reticulada* con la que se ha solido explicar la pantalla en su conjunto (Celestino 1980). Este error, que ahora señalamos y explicaremos después, hace perder vigencia también, a la idea de que la organización interna de la pantalla de Cornalvo sea fruto de la reforma que llevó a cabo Campomanes a finales del XVIII (Martín Morales et al 2000) tomando como modelo algunas presas construidas en España en esa época, pues, en cualquier caso, la revisión de distintos documentos del Archivo Campomanes permite comprobar, además, que fueron pocas y de pequeña entidad las reparaciones introducidas entonces en la estructura de la pantalla.

Otra particularidad de Cornalvo es la anómala ubicación de su torre de toma, exenta y situada hacia

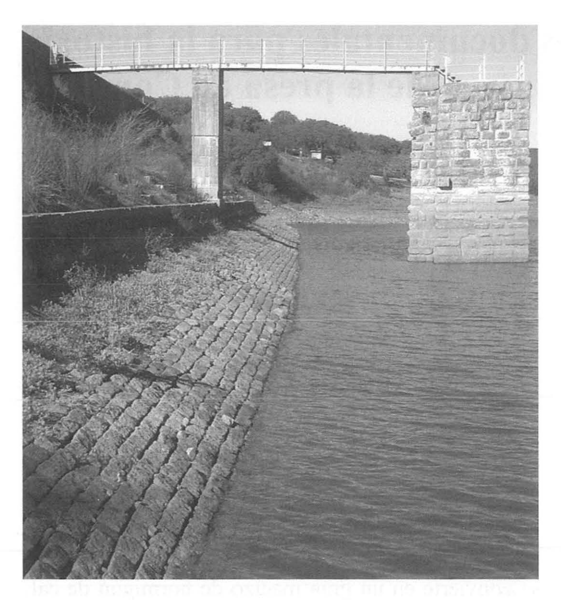


Figura 1
Vista actual del paramento de aguas arriba y torre de toma de Cornalvo

aguas arriba, a la que se accedería desde la presa mediante un puente de piedra. En la actualidad esta torre es la única parte del conjunto que conserva su apariencia antigua.

Durante la realización de distintos trabajos sobre los abastecimientos romanos de la ciudad de Mérida (Arenillas, Martín y Alcaraz 1992; Alcaraz, Arenillas y Martín 1993; C. H. del Guadiana-Ingeniería 75 1997; Martín Morales et al 2000), se ha podido comprobar que la documentación relativa a Cornalvo es bastante amplia, pero sólo una pequeña parte de ella se ha empleado en las distintas descripciones que se han hecho de la presa. Por ello, hemos considerado de interés recopilar —y volver a analizar en algunos casos— la documentación disponible sobre el tema (sin pretender, como es obvio, que esta revisión tenga carácter de exhaustividad) para, de este modo, fijar en la medida de lo posible el estado actual de la cuestión.

Cornalvo en la documentación

Resulta difícil reconstruir la historia de la presa a través de las fuentes escritas, dado el vacío documental existente hasta el siglo XIII y la escasez y brevedad de las noticias localizadas hasta el siglo XVII. Sin embargo, las referencias encontradas permiten constatar un aprovechamiento casi ininterrumpido de las aguas del embalse, al menos desde el siglo XIII, además de aportar puntual información sobre la evolución del estado de su estructura y de las reparaciones llevadas a cabo en ella, que fueron, hasta el siglo XX, escasas y poco ambiciosas. Sorprende además el interés por mantener en buen estado el sistema de aportes al embalse (azud de las Muelas y canal de trasvase) o la torre de toma, en lugar de la propia presa, circunstancias que parecen señalar el mantenimiento, a lo largo de muchos siglos, de los fines para los que fue construida —regulación de las aguas del río Albarregas—, a pesar de los muy variados usos que se dio a estos caudales.

En cuanto a las fuentes que aportan datos históricos sobre Cornalvo, hemos distinguido tres grupos básicos. En primer lugar las administrativas, relacionadas con su gestión: sucesivamente la Orden Militar de Santiago —a partir del siglo XIII—, el Concejo de la ciudad de Mérida y, posteriormente, los Servicios Hidráulicos del Cijara y del Guadiana, que desde hace más de cincuenta años se prolongan en la actual Confederación Hidrográfica del Guadiana. En segundo lugar los textos de los cronistas o eruditos, que aportan aspectos descriptivos de la obra. Y por último, la información contenida tanto en los documentos acerca de las obras que llevó a cabo Campomanes, de finales del siglo XVIII, como en los redactados por la Administración del Estado desde principios del XX. En un conjunto aparte se reúnen los estudios que sobre la presa se han realizado desde mediados del siglo pasado, suscitados por su interés como obra histórica de la ingeniería romana.

Además de la documentación escrita, contamos con varios grabados y fotografías, que permiten forjar una idea de cómo era Cornalvo antes de su reconstrucción, y también con algunos planos de la presa que levantaron los ingenieros del siglo XX.

El vacío documental de los primeros siglos

La colonia romana de Augusta Emerita, fundada en el año 25 a. C, contó con tres abastecimientos de agua potable a lo largo de su historia. El primero en construirse, el *Aqua Augusta*, traía las aguas que cap-

taban una serie de galerías subterráneas situadas donde más tarde se construyó el embalse de Cornalvo (Macías 1913; Martín et al 2000). En fecha algo posterior —o quizás al mismo tiempo— se harían, por un lado, el sistema que hoy conocemos como Rabo de Buey-San Lázaro y, por otro, la captación y conducción del Borbollón, que se uniría a la ya existente de Cornalvo. En torno al cambio de era —o, en todo caso, en las primeras décadas del siglo I— este último conjunto se ampliaría con la construcción de la presa.[4] Por último, el abastecimiento a la Mérida romana se completará con el sistema que forman la presa de Proserpina y el acueducto de los Milagros, fechado a finales del siglo I d. C. o principios del II (Arenillas, Martín y Alcaraz 1992; Alcaraz, Arenillas y Martín 1993; Arenillas, Díaz-Guerra y Cortés, 2002).

No conocemos el momento concreto en que el sistema de Cornalvo deja de funcionar como abastecimiento de la ciudad de Mérida, ni por qué. Las excavaciones realizadas en su canal de conducción (Márquez 1997; Hernández 2003; Pérez Maestro 2005) han constatado su amortización en época Bajo Imperial, así que suponemos que el sistema hidráulico deja de estar en uso por esas fechas. Además, el fallo del sistema en algún punto de la canalización, y no por rotura de la presa, casa bien con las descripciones que poseemos de Cornalvo en fechas posteriores y que coinciden siempre al mencionar esta obra como un «muro sólido».

Tras la inutilización del abastecimiento, no tenemos datos de Cornalvo hasta el siglo XIII, si bien se puede suponer que, de tener algún uso durante ese periodo, no sería muy diferente a los que se dan a sus aguas posteriormente, en época medieval, y de los cuales hay noticia.

Cornalvo bajo la administración de la Orden Militar de Santiago

Las primeras referencias escritas sobre la presa se encuentran en documentos de los siglos XIII y XIV pertenecientes a la administración de la encomienda santiaguista de Mérida. Los orígenes de esta encomienda se remontan al año 1171, cuando el entonces arzobispo de Santiago de Compostela, dueño de la mitad de la ciudad de Mérida, llega a un acuerdo con el maestre de la Orden, Pedro Fernández, por el cual los caballeros se ponen bajo el patrocinio de Santiago Apóstol (Matellanes 2000). Al aceptar este tutelaje, la Orden recibirá importantes donaciones, entre ellas la cuarta parte de Mérida (1229), si bien los santiaguistas sólo tuvieron que compartir el señorío de la *civitas* con el arzobispo de Santiago hasta el año 1254, cuando les es concedido el cuarto de la ciudad perteneciente al arzobispo en permuta por la encomienda de Loyo y gran número de propiedades en Galicia (Matellanes 2000).

Entre las posesiones pertenecientes a la parte correspondiente al arzobispo de Santiago, se encuentra la dehesa llamada «la Albuera de Fernán González». Esta albuera no es otra que Cornalvo, según se deduce de un documento muy posterior (1771) en el que se copia el texto de 1254 y se hacer referencia a «la charca llamada de Cornalvo, alias de Fernán González» (AHN, Consejos, Leg. 51.494, nº 1; AC, Caja 03/03/E/07. Leg. 65–67).[5] Es, pues, esta referencia del siglo XIII la primera noticia escrita que hemos encontrado de la presa. El nombre que se da a la charca en este documento —y que posteriormente se cambiará por el de la dehesa en que se encuentra— podría estar en relación, quizás, con el comendador de la Orden en Mérida en 1236, Fernán González.

Casi un siglo después, en 1327, el maestre de la Orden de Santiago, Vasco Rodríguez, reorganiza el fuero de Mérida concediendo al Concejo algunos beneficios sobre la tala de madera y la bellota (Matellanes 2000; Chaves 1740, fol.48v.), cediendo además como *bien propio*[6] el uso de la dehesa de la albuera:

> por hacer bien, y merced al Concejo de Mérida, y para que se poblasse mejor, le otorgó su fuero, á que era poblado, y los Privilegios de sus antecessores; y otrosi, todo su término, y el de sus Aldeas . . . que lo huviesen bien, y cumplidamente, llevando la bellota, madera y leña de la Albuera, que decían de Fernán González (Chaves, 1740, f.48v).

Lo más interesante de este documento es que el maestre especifica los usos que concede a Mérida y entre ellos no se incluye el uso gratuito de las aguas de Cornalvo, que se reservaría seguramente para mover algunos molinos de monopolio señorial.

Tras esta referencia a la albuera no volvemos a tener noticias concretas de la presa hasta finales del siglo XVI; sin embargo, hay noticias de que en el siglo XV los molinos de Mérida no son ya propiedad de la

Orden, sino que se administran directamente desde la ciudad (Rodríguez 1985, 191), por lo que suponemos que las aguas de Cornalvo también.

La administración de la presa por el Concejo de Mérida, hasta su cesión a Campomanes

Tras las referencias indicadas, se sucede un nuevo vacío documental de más de doscientos años: hasta 1594. Las noticias que a partir de esta fecha y hasta mediados del XVIII encontramos sobre Cornalvo proceden mayoritariamente de los Libros de Acuerdos Municipales del Concejo de Mérida, conservados en el Archivo de su Ayuntamiento, que aportan datos relacionados con la administración de las aguas de la presa. La única referencia expresa a la albuera que no procede de estas fuentes es la descripción que de Cornalvo hace el historiador Bernabé Moreno de Vargas (1633):

> si bien no es tan grande como la referida [Proserpina], es de aventajado edificio de los romanos, cuya agua la traían encañada a la ciudad; hoy se usa de ella para abrevadero de los ganados, y también suelen moler con su agua algunos molinos que se han hecho junto a ella, y los del río Albarregas, donde se desagua, y con esto corre en verano, que no sería esta la menor causa de haber hecho los romanos esta albuhera. (Moreno de Vargas, 1633)

Moreno de Vargas acierta, sin duda, con el motivo de la construcción de la albuera por los romanos: el abastecimiento de Mérida. Sin embargo, en un documento algo anterior a esta descripción, se dice tener noticia «de que antiguamente se traía agua a esta ciudad encañada de hacia la parte del Borbollón y que con comodidad se podría traer» (AMM, LA, 1608, f.49v.) lo que parece indicar que en aquellas fechas se había perdido —al menos, por algunos— la relación entre las conducciones del Borbollón y de Cornalvo.

A partir de esta descripción de Moreno de Vargas tenemos noticia de los usos principales que se dan a las aguas de la charca: mover los molinos y abrevar el ganado. Las noticias proporcionadas por los Libros de Acuerdos del Concejo de Mérida precisan estas afirmaciones indicando, además, una explotación conjunta de Proserpina y Cornalvo, cuyas aguas se administran en función de la cantidad almacenada en cada embalse. Ejemplo de ello es la primera referencia que sobre Cornalvo hemos encontrado en estos Libros: «Acordóse que se suelte el agua de la albuera de Carija [Proserpina] para el martes 16 de agosto, atento que el agua de la de Cornalvo se acaba y hay falta de pan por no haber dónde moler» (AMM, LA, 1594, f.195v).

El uso de ambas charcas en la molienda necesariamente implica alguna forma de regulación de sus aguas, bien porque esta función se haya recuperado con arreglos, bien porque nunca se haya perdido. Los siglos XVII y XVIII proporcionan interesantes datos sobre la regulación de las aguas en Cornalvo, ya que los emeritenses «tapan» o «destapan» la charca según conviene. Normalmente se destapa en el estiaje y se avisa con tiempo para que estén preparados los molinos, aunque en algunos casos la albuera se «destapa» sola y han de remediarlo: «Porque se ha dado noticia que la albuera de Cornalvo se ha destapado, se acordó se tape y ponga en perfección» (AMM, LA, 1619, f.179r.). Incluso tenemos noticias de un oficio de «destapador de la Albuhera» (Álvarez 1994) y de un «comisario de charcas» (AMM, LA, 1759, f.127r.); ambos oficios nos dan una idea de la importancia de estas presas para la ciudad.

También tenemos noticias de reparaciones o «aderezos» de la albuera —todas parecen ser de poca importancia— en los años 1611 (AMM, LA, f. 325r), 1617 (AMM, LA, f.58r.) y 1675, en que se arreglan la toma y la muralla (AMM, LA, f.162r.); y de los usos que se dan a sus aguas, como el abrevado del ganado de la ciudad (AMM, LA, 1675, f.162r.) o la pesca (AMM, LA, 1691, f.332r).

Curiosamente, la pesca —con caña o red— estaba prohibida en la albuera de Cornalvo «en ningún tiempo del año . . . por acuerdos antiguos» (AMM, LA, 1672, f.356r.) Pese a estar considerada delito ésta práctica, sabemos que en ocasiones se llevó a cabo y con métodos destructivos: «se ha barrido[7] la charca de Cornalvo por diferentes vecinos de esta ciudad» (AMM, LA, 1687, f. 48r.). Sin embargo, en el siglo XVIII encontramos un interés notable en la conservación de los peces que se criaban en la albuera (AMM, LA, 1758, fol. 57r.; AMM, LA, 1759, f.127r.), así que hemos de suponer un cambio en la legislación, que permitiría la pesca, al menos en fechas concretas.

A mediados del siglo XVIII surgen nuevos usos para las aguas de la presa. Se construye un lavadero

de lanas aguas abajo de Cornalvo y su dueño pide permiso al Concejo para «reparar y limpiar el bocín de la expresada charca y poner la llave para desaguarla cuando se necesite» (AMM, LA, 1758, f.57r.). La ciudad lo autoriza pero asegurándose el agua para los demás menesteres que solía (AMM, LA, 1758, f.57r.).

No debió durar mucho la reparación propuesta ya que un año después, «la charca de Cornalvo se halla rota su muralla y casi seca por este defecto . . . acuerda esta ciudad que el caballero comisario de charcas cuide de que se repare prontamente» (AMM, LA, 1759, f.127r.). El arreglo debió ser, una vez más, provisional ya que en ese mismo estado la encontrará Campomanes cuando doce años después adquiera los terrenos de Cornalvo.

La presa bajo el auspicio de Campomanes

En 1771, D. Pedro Rodríguez Campomanes solicita al monarca Carlos III la concesión de los terrenos de Cornalvo en Mérida —concretamente los sitios del Borbollón, La Navilla y Valle de la Viña.

Con motivo de esta cesión al futuro conde de Campomanes, los antiguos propietarios de los terrenos, la Orden Militar de Santiago, aportan información sobre su situación legal. Entre esta documentación se encuentra copiado el ya mencionado documento de 1254 referido a las tierras del Monasterio de Loyo permutadas por las de la Charca de Cornalvo (AHN, Consejos, Leg. 51.494, nº 1; AC, Caja 03/03/E/07, Leg. 65–67) y la referencia de que las charcas de Cornalvo y de Fernán González son la misma. Además de legitimar su propiedad sobre los terrenos, los maestres incluyen la descripción de las tierras e indican que la charca está seca por no haberse reparado.

Pese al estado de Cornalvo, Campomanes solicita al Concejo en 1773 el uso de sus aguas para hacer funcionar un molino de papel que proyecta construir, comprometiéndose a reparar la « muralla, bocines de la charca y presas[8] arruinadas» (AHN, Memorial, 1773, 1–13), si se le concede. Mérida acepta su petición pero se reserva derechos sobre la charca y su pesca (AMM, LA, 1773, fol.281r-v.).

Mientras obtiene los permisos y antes de comenzar el grueso de las obras, Campomanes pide al ingeniero Juan Rulier[9] la redacción de un informe que refleje el estado de las estructuras que pretende restaurar —entre ellas la charca de Cornalvo— y el mejor modo de llevar a cabo las obras necesarias para poner en uso el molino de papel que ya ha comenzado a levantar. El escrito que remite Rulier a Campomanes nos aporta nuevos datos, como la existencia no sólo de una «charca grande» —Cornalvo— sino de otra más «chica» aguas abajo de la romana, que recoge lo que la grande pierde. Rulier, tras inspeccionar el Coto, propone la reparación de la «charca grande». En los siguientes términos:

> Se dará principio abriendo y despejando el conducto por donde se encaminan las aguas desde la Charca grande a la pequeña, comenzando desde la parte inferior de un torreón que existe en medio, arrimado al murallón, desde el cual dicho conducto atraviesa el grueso de éste y un pedazo de monte que sirve de contramural. Y después se abrirá el que va de la parte superior de dicho torreón, a fin de que desaguada la Charca, se pueda sacar la broza de su fondo y se ponga una compuerta al agujero de dicha parte superior, de tal forma dispuesta que desde arriba, con facilidad, se pueda abrir sin necesidad de bajar al suelo del torreón como antiguamente se hacía según se colige por un resto de escalera que todavía permanece. (AC, 1773, leg.65–71)

Con esta descripción Rulier parece haber comprobado la lógica existencia de una entrada y una salida en el fondo de la torre de toma, al que se accedía en la antigüedad por el «resto de escalera que todavía permanece». De este modo, en época romana la torre sería completamente estanca —o prácticamente— y dispondría en su fondo de una o varias tomas entubadas que, manejadas a través de un sistema a válvulas de bronce, permitirían la salida del agua mediante otro tubo (o serie de tubos) que la conduciría a la galería de desagüe. Lo cual es lógico, pues es el sistema que todavía puede observarse en el bocín central de Proserpina. Por ello, la ventana que se abre en la parte inferior del paño izquierdo de la torre (según la dirección del río), recogida en una fotografía de 1910, y otras a las que hace referencia algún documento, pueden corresponder a la reparación de Campomanes (o a otras posteriores), pues este sistema, manejado desde arriba, como propone Rulier, supone la inundación del interior de la torre cada vez que se abre la compuerta, lo cual hace inútiles las escaleras y requiere un cierto sistema de regulación a la salida de la galería. No obstante, la compuerta se debió ins-



Figura 2
Detalle de la torre de toma y contrafuerte de Cornalvo en 1910 (González 1910)

talar, según explica a Campomanes el Conde de Manetti en un documento posterior, que citamos a continuación.

En todo caso, Rulier no propone ninguna reparación en la presa propiamente dicha, quizás porque la «charca chica» recogía las aguas que se escapaban de la «charca grande» y con ellas podía moverse el molino de papel. No obstante, se hicieron también obras en el dique y así, con posterioridad al escrito de Rulier, el Conde de Manetti, que debió de sustituir al ingeniero francés en la inspección de las obras del Coto, notifica a Campomanes los trabajos que se están llevando a cabo en el sistema de Cornalvo (la cursiva es nuestra):

> la reunión de todas las aguas, la composición y restauración del largo tránsito de las tomas, canales, puentes y *compostura de la muralla de la charca grande de Cornalvo*, el bocín y compuerta de este en su torreón, los gastos juntamente de la nueva charquita (AC, leg. 65–80).

Manetti también realizó reparos en la presa, pues añade además que « . . . se advertía en ella alguna rotura en su antigua pared por donde se desperdiciaba el agua, falta muy fácil de remediar en adelante, como así sucedió con el cuidado del exponente» (AC, leg. 65–80). De lo expuesto no se puede deducir, ni mucho menos, una gran obra como la que hubiera supuesto realizar la estructura reticular de muros perpendiculares que describen —o así se ha interpretado— los ingenieros de principios del XX. Tampoco la inspección de las cuentas correspondientes a estas obras —conservadas en el Archivo de Campomanes— indican otra cosa. Parece, por tanto, que el proyecto del XVIII se limitó, una vez más, aunque quizás ahora de forma menos provisional, a reparar *en lo posible* la estructura antigua, ya que, de hecho, las obras en la presa no llegaron a adquirir nunca tanta significación como el resto de las realizadas en el coto[10] (la documentación nos transmite que también se arreglaron los conductos de derivación de la charca hasta el molino, la charca Chica, la cañería de La Navilla y, por último, la cañería de El Borbollón).

De los años en que se realizan estas obras o los inmediatamente posteriores se conservan tres descripciones de Cornalvo. Antonio Ponz (1778, VIII: carta cuarta) será quien hable por primera vez de «residuos de gradería». En la muralla, que le llevan a pensar que la presa se usaría para realizar espectáculos navales.[11] Es curioso que Ponz pensase esto cuando en esos años ya se conocía «por ser público y notorio que ha millares de años las aguas que estos siglos pasados recogidas por sus tomas de diferentes cursos, montes y cañadas, la charca de Cornalvo y cañería del Borbollón (que apenas lo oímos por tradición) llegaban estas por acueductos subterráneos a la propia ciudad de Mérida en el tiempos de los antiguos Romanos señoreaban» (AC, leg. 65–80).

No obstante, el hecho de que Ponz defina el talud escalonado de aguas arriba de Cornalvo como «residuo» es indicativo de que éste no es fruto de la reforma de Campomanes, sino que existía desde antes y estaba ya deteriorado.

Las otras dos descripciones de la presa se encuentran en una carta de D. Joseph Cornide a Campomanes fechada en 1798 (AC, 37/4), en la que se indica que la charca «casi estaba seca», y en el relato de la visita que hizo a la dehesa el Maestre de la Orden de Santiago D. Antonio Bahamonde, y en la que, contradictoriamente, se dice que «La charca grande tenía mucha agua» (AHN, Consejos, Leg. 4898).[12] Puede ser, en efecto, que Cornide encontrase el embalse vacío, pero no por defecto de la obra, sino porque, según parece, ese año apenas llovió (AHN, Consejos, 1798, leg. 40.898) y que las precipitaciones llegasen durante el otoño de 1798 o la primavera del año siguiente, antes de la visita del Maestre. En otro caso, la contradicción resulta evidente.

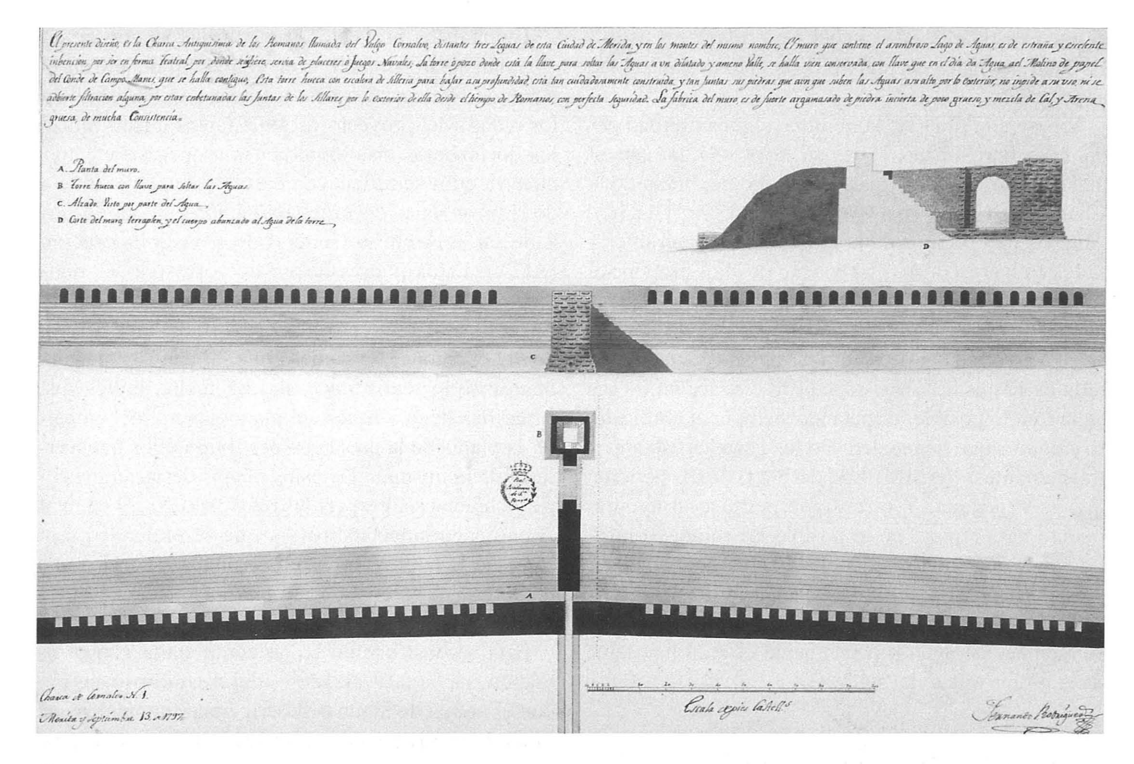


Figura 3
Sección y alzado de la presa por Fernando Rodríguez (1797) (RABASF, dibujo A/5959)

También es de esas fechas la primera representación gráfica que se conserva de la presa de Cornalvo; se trata de dos dibujos del emeritense Fernando Rodríguez, fechados en septiembre de 1797. Uno de los dibujos representa la presa en sección, planta y alzado y el otro incluye el embalse y la traza de la muralla (RABASF, dibujos A/5960, A/5959). Ambos están idealizados, pero ponen de manifiesto el escalonado de la parte alta de la estructura y los nichos (excesivos, según veremos) que adornaban la coronación del muro.

Además de las referidas, la documentación no recoge reformas posteriores ni parece que el molino de papel siguiera funcionando; de hecho, en 1805, la ciudad insta al Conde de Campomanes[13] para que cumpla con las condiciones escrituradas cuando se le cedió el uso de estas aguas, ya que las tomas y parte de la muralla estaban rotas y se agotaba el agua (AMM, LA, 1805, f. 42).

Periodo de abandono de la presa

Desde 1825 las aguas de Cornalvo vuelven a estar administradas por el Ayuntamiento de Mérida. En 1857 el cronista de la ciudad, Fernández y Pérez, dirá que la charca está abandonada y que «en el día se le repasa todo el agua por debajo del bocín» (Fernández y Pérez [1857] 1893, 39), circunstancia que, como veremos, se mantiene a principios del siglo XX y justificará la construcción de un muro de pie a lo largo de la parte central de la presa, rodeando la torre de toma, con objeto de evitar estas pérdidas de agua (Rus 1912). Además, Fernández y Pérez todavía ilustra sobre los usos del embalse como naumaquia, herencia de las descripciones de Antonio Ponz. Sin embargo, casi cuarenta años después Forner y Segarra (1893) dirá de la presa que «no es tan capaz como la Albuera [Proserpina]; pero el edificio es mucho más suntuoso y magnífico que el de la Albuera. Conducía

el agua desde ella a la ciudad para diferentes usos». Es decir, a finales del siglo XIX la obra romana sigue asombrando.

Y pese a la ruina de la muralla, alguna utilidad debía tener aún la charca pues en 1896, «Se aprueba el presupuesto hecho . . . para el arreglo del bocín de la Charca de Cornalvo» (AMM, LA, 1896, f.185r.). Además hay vecinos de la ciudad que siguen interesados en dar uso a sus aguas. Uno de ellos propone al Ayuntamiento que «se le conceda el derecho de propiedad de la pesca que se críe en la charca de Cornalvo . . . a condición de reedificar de su cuenta la muralla de la misma hasta impedir la distracción de sus aguas, en lo posible, respetando siempre el abrevadero común a que tienen derecho los ganados estantes y trashumantes» (AMM, LA, 1873, f. 36r.), petición que es denegada. Y otro «pide permiso al ayuntamiento para reparar en lo posible las roturas o infiltraciones que en el día tiene la Charca de Cornalvo» (AMM, LA, 1873, f.40) para establecer una piscifactoría, petición que también es rechazada. Es decir, las filtraciones de agua son realmente el gran problema de la última mitad del siglo XIX.

Los proyectos de principios del XX

Con el siglo XX comienza un nuevo periodo para Cornalvo. En el Plan de Obras Hidráulicas de 1900, aprobado por R.D. de 25 de abril de 1902, se incluye, con carácter prioritario, la reparación de la presa. En 1903 se aprueba una propuesta de estudios, encomendada al ingeniero Tomás Amarillas, que los inicia y avanza bastante en ellos, pero debe abandonarlos en 1905 por traslado a otro destino. El encargo lo retoma ese mismo año Juan García y García, quien redacta el *Proyecto de reparación del pantano de Cornalvo*, fechado el 16 de abril 1906, donde se recogen las propuestas de Amarillas.

A este proyecto, y por muy distintos motivos, seguirán otros —y algunas memorias— en los que se van recogiendo las principales características de la presa que encuentran los ingenieros del Guadiana a principios del siglo XX.[14] De este modo se alcanza el año de 1922, cuando puede darse por concluido el grueso de las obras de rehabilitación y la modificación de la estructura original —o lo que quedaba de ella—, que a partir de entonces aparecerá ya con su configuración actual.[15]

Todos estos proyectos y memorias se conservan —algunos parcialmente— en el archivo de la Confederación Hidrográfica del Guadiana (ACHG), si bien los planos del proyecto de 1906, antes citado (quizá los documentos más importantes a nuestros efectos, pues en ellos se refleja con bastante detalle el estado de la presa antes de su rehabilitación), se han localizado en el Archivo General de la Administración (AGA). Estos planos deben de corresponder realmente a Tomás Amarillas, según se explica en un informe a otro proyecto posterior (González 1910), donde el entonces ingeniero jefe, al citar los antecedentes de lo realizado hasta esa fecha, indica que Amarillas llegó a hacer «el plano general del embalse, la planta de la presa con perfil tipo y los transversales de la misma». De estos planos destacan los correspondientes a los perfiles transversales, 39 en total —uno cada cinco metros—, que se extienden a lo largo de la mayor parte de la pantalla y son los que permiten una reconstrucción muy razonable de su estructura.

Esta reconstrucción se ha completado con otros planos —planta y alzado— del mismo proyecto y con el apoyo de algunas descripciones contenidas en otros documentos redactados entre 1906 y 1922, especialmente los proyectos fechados en 1913 y 1918. Nos hemos apoyado también en los datos y resultados de un trabajo reciente de la Confederación Hidrográfica del Guadiana (C.H. Guadiana 2005), así como en otras publicaciones sobre la presa.

Los problemas de la estructura reticulada

Los 39 perfiles incluidos en el proyecto de 1906 corresponden a otras tantas secciones del paramento de aguas arriba de la pantalla de Cornalvo, si bien el detalle con el que están elaborados facilita, como veremos, mucha más información. Se comprueba, en primer lugar, que los perfiles del paramento de la pantalla se ajustan a dos tipos distintos: los correspondientes al sector más profundo de la cerrada, con una longitud de casi la mitad del total, y los que cubren el resto de la pantalla, entre los que se aprecian ligeras diferencias en la zona derecha de la presa. Nos centraremos, de momento en el tramo principal, ya que su análisis es el que permite corregir los errores hasta ahora cometidos en la descripción de la pantalla de Cornalvo y, en todo caso, es

el que facilita una interpretación conjunta de toda la estructura.

Según los planos, en esta zona la estructura se iniciaba, desde el terraplén, con una amplia coronación de unos tres metros de ancho, que se prolongaba hacia el embalse según un abrupto talud de unos 56º de pendiente hasta alcanzar una superficie sensiblemente horizontal, muy bien definida en algunos perfiles, situada unos seis metros por debajo de la coronación. Esta superficie correspondía, según veremos, al remate superior de un muro vertical, de entre 2,50 y 3,00 metros de espesor, sensiblemente paralelo al eje de la pantalla. En este punto se observa un cambio brusco en el perfil de la estructura, señalado por el tramo horizontal mencionado, al que sigue un escalón de dos metros de altura. Desde la base de este escalón el talud se prolonga hacia aguas arriba con una pendiente ligeramente superior a los 20º, es decir, mucho más suave que la del tramo anterior.

Para entender esta zona inferior de la estructura hay que recurrir a otros proyectos. En 1913,[16] el ingeniero Francisco Rus, al referirse a la pantalla, señala que: «aguas arriba y en su parte inferior hay un macizo de mampostería con mortero de cal muy pobre» del que «arrancan catorce muros distanciados entre sí siete metros, de mampostería con mortero de cal, en dirección normal a la presa y terminan en otro muro», que sitúa en el cambio de pendiente del talud de la pantalla, sin mayores precisiones. No obstante, a continuación añade: «entre el macizo inferior y el muro longitudinal hay otro muro paralelo a éste y separado de él siete metros formando una cuadrícula con los transversales; el espesor de estos muros es de un metro veinticinco centímetros». Esta descripción se completa en la *Memoria* que el propio Rus debe preparar en 1918 acerca de las obras de Cornalvo, donde dice que el primer muro (el macizo de aguas arriba) y el segundo (el muro longitudinal) distan «horizontalmente unos 15 metros», mientras que «el tercer muro [el de coronación, pues no hay otro] dista del segundo siete metros», distancias que coinciden sensiblemente con las que se deducen de los perfiles transversales. Es decir, la pantalla de Cornalvo está formada, según estas descripciones, por tres muros longitudinales: la coronación que, como veremos más adelante, consta efectivamente de un muro al que se adosan dos metros de hormigón de relleno para completar los tres metros del espesor total antes citado; un muro intermedio, en correspondencia con el brusco cambio de pendiente al que nos hemos referido; y el muro de pie, o macizo inferior de las descripciones.[17]

En el proyecto de Francisco Rus de 1913 es donde aparece por primera vez mencionada la «cuadrícula» que ha dado lugar a la errónea interpretación de la estructura reticulada de la presa, a pesar de que este ingeniero se refiere taxativamente a (el subrayado es nuestro) «catorce muros [transversales] distanciados entre sí siete metros» y cortados por otro, situado entre el macizo inferior y el muro longitudinal «y separado de él siete metros formando una *cuadrícula* con los transversales» (Rus 1913). Es decir, está claro que la retícula se sitúa sólo en una zona muy concreta de la parte inferior de la pantalla y no cubre, ni mucho menos, toda la estructura. Pues al estar formada por 14 muros transversales de 1,25 m de espesor cada uno, separados 7 metros entre sí, es decir, poco más de 92 metros en total, su longitud no alcazaba ni la mitad de la necesaria para extenderse a toda la presa.

Esta morfología delimita en el sector de la pantalla que ahora nos ocupa dos zonas netamente distintas, que quedan también muy claras en las diferencias que marca Rus entre ambas cuando, también en el proyecto de 1913, señala que la cuadrícula «está rellena hasta un metro cincuenta centímetros de la superficie, de una tierra arcillosa muy compacta, completando el relleno un hormigón con aglutinante de arcilla», mientras que entre el muro intermedio y la coronación se trata de un macizo de hormigón.

Pues bien, las imprecisas descripciones de Rus, la falta de ellas en otros proyectos y, sin duda, las características de la presa finalmente reconstruida, en la que se dispusieron 22 muretes transversales escalonados entre el muro intermedio y la coronación, remedando los catorce iniciales (que, por contra, se situaban en la parte inferior de la estructura), ha conducido a la interpretación errónea de la pantalla de Cornalvo.

En un trabajo reciente (Aranda et al 2006a) se ha comprobado que estos 22 nuevos escalonados son elementos de pequeña altura —cimentados, sin duda, sobre el hormigón romano— y dirigidos, en todo caso, a asegurar una cierta estabilidad transversal al revestimiento dispuesto entre ellos. En los proyectos consultados no se citan tales muros como obras de entidad ni tampoco su apoyo en otros muros preexistentes. Pero sí se cita, en cambio, la gran compacidad del material localizado entre la coronación y el muro

intermedio, como se deduce de las palabras del ingeniero Rafael López Egóñez (1922), cuando explica las causas por las que había resultado insuficiente el presupuesto estimado para las obras:

> La demolición de algunos bloques de hormigón que cuentan con más de 20 siglos y que ha sido indispensable . . . se consideraron como roca floja, fijándoles el precio que a esta clase de terreno corresponde . . . En todos estos desmontes sólo ha podido aplicarse el procedimiento de excavación directa por medio del pico y en muchos casos, sólo el puntero y la maceta podían demoler masa tan homogénea, sin perjudicar el hormigón que debía subsistir.

Lo cual pone de manifiesto, nuevamente, las diferencias entre el hormigón de cal del sector alto de la presa y los rellenos de la retícula inferior.

La estructura original de la pantalla de Cornalvo

De acuerdo con las consideraciones anteriores y una vez superada la teoría de la estructura reticulada, cabe entrar en la descripción pormenorizada de la pantalla. Conviene, no obstante, caracterizar previamente algunos elementos concretos de esta estructura.

Un elemento singular es el muro vertical al que ha quedado reducida la coronación de la pantalla tras la gran reparación de principios del siglo XX. Se trata de un muro, reconstruido en parte según se deduce de los perfiles, que se ajusta al modelo de muro-pantalla que utilizaron los romanos en numerosas presas: dos paños de mampostería que contienen entre ellos un núcleo de calicanto, al que se encomendaba la impermeabilidad del conjunto. En nuestro caso, los paños exteriores alcanzan unos 30 cm de espesor y otros 40 cm el núcleo impermeable. Esta tipología hace pensar que los ingenieros que reconstruyeron el muro a principios del siglo XX lo hicieron ajustándose a las características del elemento que estaban reponiendo, pues una estructura de estas características tan concretas sólo tiene sentido si se trata de un elemento que está dando continuidad a otro preexistente.

En cualquier caso, los perfiles de la presa dejan sin aclarar la forma de la pantalla en su contacto con el terraplén. Pero casi todos los proyectos apuntan que, probablemente, era vertical, siguiendo la descripción de Juan García y García de 1906, cuando dice que: «el paramento de aguas abajo de dicho muro al menos en apariencia es vertical [y] queda oculto por el gran terraplén que se le adosa y sostiene por el lado de aguas abajo». Los sondeos realizados últimamente (C.H. Guadiana 2005) señalan en este mismo sentido.

Es curioso, sin embargo, que ninguno de los proyectos consultados mencione la existencia de un refuerzo de un metro de espesor adosado al macizo de coronación por el lado del terraplén y rematado un metro o metro y medio por debajo de éste. El refuerzo figura en los perfiles de 1906 correspondientes, aproximadamente, a los 45 m de la parte central y más profunda de la cerrada. Por su posición, dicho elemento tiene que ser un refuerzo corrido, que se construiría para mejorar la resistencia de la pantalla en la zona más alta de la presa; en la actualidad no queda a la vista al estar cubierto, probablemente, por el terraplén, lo que impide, también, fijar con exactitud su longitud real.

Para la presa, y con los datos más recientes (C.H. Guadiana 2005), se puede admitir una longitud total en coronación —medida en línea recta entre estribos— de unos 226 m, que quizá fuese algo distinta —mayor o menor— en época romana, pues han sido muchas las modificaciones introducidas en el estribo derecho a lo largo del tiempo: desde una gran excavación que se observa en este lado en los planos de 1906 —y, por tanto, anterior a esta fecha—, hasta la construcción del camino de acceso actualmente en servicio, por citar los más evidentes. De todos modos, la directriz de la presa no es recta y, concretamente, en el muro de coronación de la pantalla se aprecian dos grandes alineaciones que, divergen hacia los estribos desde un punto situado a unos 70 metros del estribo derecho y, por tanto, a 156 m del izquierdo. Estas dos alineaciones forman entre ellas un ángulo de 172º aproximadamente, abierto hacia aguas abajo, si bien cada una de ellas se resuelve a su vez en otras menores, que apenas se apartan de la correspondiente directriz.

La clara disimetría del valle en la cerrada de Cornalvo, muy frecuente en terrenos esquistoso como los que sirven de apoyo a la obra, es la que determina la posición ligeramente desplazada hacia la ladera más pendiente —la izquierda en este caso— del sector principal y más resistente de la estructura que,

de este modo, se sitúa en la zona más profunda de la cerrada.

Todos estos datos, junto con los que se obtienen de los planos de 1906 permiten situar y caracterizar con detalle los distintos sectores de la pantalla en época romana. El sector principal —la estructura más sólida, en cualquier caso— se inicia a 41 metros aproximadamente, del estribo izquierdo y se prolonga otros 110 metros hacia la derecha. En este tramo la estructura estaba constituida por dos bloques claramente diferenciados: la pantalla propiamente dicha, desde la coronación hasta el muro intermedio, y la retícula con su relleno, que se prolongaba entre este último muro y el macizo inferior. La pantalla estaba formada por dos muros, separados unos seis metros, y, entre ellos, calicanto (*opus caementicium concretum*) de cantos gruesos (o «morrillos», como cita García en 1906). El muro de aguas abajo era el muro-pantalla antes descrito, de un metro de espesor, al que se adosaba hacia el terraplén un refuerzo de mampostería (*opus incaertum)*, que corría a lo largo de, por lo menos, los 45 m centrales de la presa. El otro muro —el intermedio de las descripciones de los proyectos—, también de mampostería, era sensiblemente paralelo al de coronación y seis metros más bajo que él, con un espesor de entre 2,50 y 3 m. El relleno alcanzaba la cota de coronación junto al muro-pantalla, donde era horizontal en los dos primeros metros para después descender hasta el muro intermedio con un talud de dos en la horizontal por tres en la vertical (los 56º antes citados, aproximadamente).

Este último muro formaba un prolongado bancal o pasillo a lo largo de todo el sector principal de la pantalla, si bien hacia la derecha, como veremos, era sustituido en un corto tramo por otro elemento similar, situado, sin embargo, en distinta posición.

A ambos lados de este sector principal de la estructura el perfil del paramento cambiaba radicalmente: la anchura de la coronación se mantenía en tres metros pero terminaba en un talud vertical de otros tres metros de alto. Desde el pie de este talud el paramento se prolongaba hacia aguas arriba con una pendiente de unos 37º (dos en la horizontal por uno y medio de la vertical, aproximadamente) hasta encontrar otro muro o el terreno natural. En los perfiles de 1906, este muro sólo aparece en un tramo de veinte metros, a la derecha del sector principal de la pantalla. De tales perfiles se deduce, para el muro, un espesor de algo menos de dos metros y una altura inferior también en dos metros a la del muro del sector anterior. En los indicados perfiles la geometría de este elemento no es tan nítida como la del tramo principal, por lo que el muro podría explicarse igualmente como un simple remate vertical del calicanto que formaba esta parte de la estructura. No obstante, es de señalar que en esta zona es donde se produce el cambio de dirección de la pantalla, lo que sin duda tuvo influencia en la geometría de los encuentros de los distintos elementos longitudinales que coincidían en este punto. En cualquier caso, desde este muro o remate (en los veinte metros indicados), o desde el pie del talud vertical (en los sectores extremos de la presa), los perfiles de 1906 prolongan el paramento hasta el entronque con el terreno natural, sin que quepan mayores precisiones.

Todo el paramento de la pantalla de Cornalvo —o, al menos, su sector central— debió de estar revestido entre la coronación y el muro intermedio por grandes sillares (de granito, en este caso). Una vez fuera de servicio el sistema hidráulico, a partir del Bajo Imperio, tales sillares habrían sido extraídos para su reutilización en otras obras, según un proceso muy repetido y bien conocido. Las huellas que quedaron a raíz de este expolio deben de ser la causa del escalonado del paramento al que se refiere Ponz a finales del siglo XVIII, cuando avanza la idea de considerar la presa una naumaquia; escalonado que recoge también Fernando Rodríguez en sus dibujos de Cornalvo y que ha sido posteriormente repetido en numerosas descripciones, incluso después del abandono de la propuesta de Ponz. Del resto del paramento poco cabe decir, aunque es fácil que también otros sectores estuviesen recubiertos por elementos graníticos de distinto tipo.

El sector principal de la pantalla está rematado en su zona inferior por la tan repetida estructura reticulada que sólo ocupaba los 92 metros centrales de este sector y estaba formada por 14 muros transversales y uno longitudinal, entre el macizo inferior y el muro intermedio, con los huecos entre ellos rellenos de un material flojo, aunque impermeable («arcilla muy compacta»). En superficie, esta estructura mantenía una ligera caída hacia el embalse (poco más de 20º), según se deduce de los perfiles de 1906 y de la menor altura (4,50 m) que asigna Rus al macizo inferior respecto del muro intermedio. Por sus características, este bloque inferior, lejos de caracterizar la estructu-

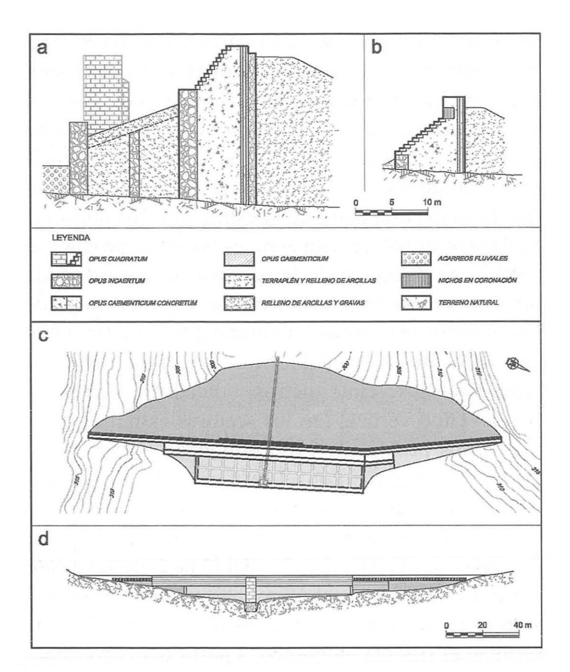


Figura 4
La presa romana de Cornalbo
a. sección tipo en la zona central con la torre de toma en segundo plano
b. sección tipo en los laterales
c. planta
d. alzado aguas arriba

ra general de la pantalla sólo se puede explicar como un elemento auxiliar. De hecho, en las descripciones de los proyectos de principios del siglo XX siempre se considera la parte más degradada de la presa, situación que confirman las fotografías de 1910 que se conservan.

La cuestión radica en determinar la función para la que se construyó. Como refuerzo estructural su tipología no resulta la más adecuada y, además, habría sido innecesario, pues el bloque superior, es decir, la pantalla propiamente dicha, y el terraplén forman una estructura —la presa en sí— claramente estable frente al empuje del agua; y lo mismo cabe decir de la pantalla respecto de las cargas originadas por el terraplén a embalse vacío. Por ello, la estructura reticulada tiene que ser un elemento construido para evitar o reducir las pérdidas de agua del embalse, pues, para paliar tales efectos todavía hoy se recurre a soluciones similares. En este sentido la obra estaría bien planteada, tanto por el dispositivo estructural adoptado, que permite la adecuada colocación de un manto impermeable de arcilla, como por su emplazamiento, en coincidencia con la parte más profunda de la cerrada. Se sabe, además, que las pérdidas de agua han sido y siguen siendo uno de los grandes problemas del embalse de Cornalvo. De ahí que sea posible, incluso, que este bloque auxiliar se haya construido una vez concluida la presa, al comprobarse que las pérdidas de agua superaban los valores admisibles.

Los nichos que figuran por debajo de la coronación en algunos planos, como el muy imaginativo de Rodríguez (1797) o el alzado de 1906, donde su número es mucho menor que en el anterior y su aspecto —como es lógico— más realista, también se describen en algunos de los proyectos de principios del siglo XX. En 1916 Rus llega a establecer sus dimensiones en 0,45 m de ancho por 1,50 m de profundidad y altura y corresponden a unos elementos que nunca se han explicado con claridad. La idea de que eran «localidades preferentes». En las pretendidas fiestas navales (Juan García y García 1906), es absurda a todas luces, entre otras cosas por sus dimensiones y, sobre todo, por su anchura escasísima. El que fuesen aligeramientos de la fábrica, según propone Rus en 1918, tiene mayor sentido. De hecho en el alzado de 1906 sólo se representan los nichos en los dos extremos de la presa (los tres primeros perfiles en el estribo izquierdo y los once últimos en el derecho), aunque en los planos se detectan en una longitud ligeramente mayor y, precisamente, en coincidencia con los dos sectores laterales en los que cambia la morfología del paramento, con los que tienen que estar en clara relación. De este modo, y si no se trata de una solución exclusivamente estética, cabría admitir que en origen tales nichos eran, como proponía Rus, aligeramientos de la estructura situados en los extremos de la presa, donde la pantalla es de poca altura y no requiere tanta solidez como en el resto.

La torre de toma se sitúa en la zona más profunda de la cerrada y está ligeramente girada respecto a la traza general de la presa (C. H. Guadiana 2005), lo que avala la idea de que se trata de una estructura construida sobre otra anterior, levantada a su vez en el punto donde convergían los drenajes del fondo del vaso y se iniciaba la conducción general, según lo

explicado anteriormente (Martín Morales et al 2000).

En planta la torre es sensiblemente cuadrada, de unos cuatro metros de lado en el interior, y está cerrada por muros de 60 cm de espesor, formados por sillares almohadillados de granito (*opus quadratum*). En época de Camponanes, según lo dicho, se abrió una ventana en la parte inferior de uno de estos muros con objeto de modificar el sistema de toma, ventana que se clausuró durante la rehabilitación de principios del siglo XX

Adosado al muro de aguas abajo de la torre hay un refuerzo o estribo vertical, de un metro de espesor y unos tres de anchura, en el que se observa el salmer del arco de un puente —hoy arruinado— que conectaba la torre con la presa, probablemente a través de un contrafuerte. Este último se puede ver en la indicada fotografía de 1910, donde aparece vencido hacia el embalse, desplome que Juan García en 1906 explicaba como un fallo del cimiento (la propia estructura de la pantalla) derivado de las reparaciones que se habían hecho en la galería general de desagüe. En algunos de los proyectos de esa época se mantiene la teoría de que el contrafuerte era de época musulmana, cuestión discutible pero que, en cualquier caso, condujo a la demolición de ese bloque a principios del XX.

López Egóñez calculó en 1922 que la curvatura del salmer correspondía a un arco de unos dos metros de radio, lo que efectivamente debía permitir enlazar la torre y el contrafuerte con un solo arco. Pero tampoco cabe descartar una estructura en época romana con dos o más arcos de estas dimensiones, cuestión en la que no entramos pues no hay base para ello. En cualquier caso, el contrafuerte se sustituyó por una estructura metálica, a través de la cual se accede a la torre en la actualidad.

El terraplén sigue siendo un gran macizo de arcillas arenosas, de unos 30 m de anchura en la base y entre 8 y 10 m en la parte más alta, sin que prácticamente se haya modificado en la rehabilitación de principios del siglo XX. Sobre el terraplén se eleva del orden de un metro el muro-pantalla que forma en la actualidad la coronación de la presa.

La altura de la pantalla es de unos 20 m, medidos desde el nivel de la cimentación de la torre de toma hasta la coronación, cifra que debería ser la misma en época romana, ya que la altura se mantuvo en la rehabilitación de principios del siglo XX y la cimentación de la presa tampoco se ha modificado. En terminología actual se trata, por tanto, de una gran presa, la tercera en altura de todas las de época romana que se conservan en España.

Conclusiones

Los datos facilitados por los documentos más antiguos (hasta el siglo XIX) y los obtenidos del análisis de detalle de algunos planos de los proyectos de principios del siglo XX ahora utilizados por primera vez, así como la revisión de otros documentos de esos mismos proyectos, han permitido establecer las principales características de la presa de Cornalvo en época romana, corrigiéndose con ello la mayor parte de las descripciones hasta ahora en uso. Para alcanzar este nivel de definición de la estructura ha sido preciso establecer previamente que los restos de la presa conservados a principios del siglo XX correspondían realmente a los de la estructura original después de haber estado sometida a un largo proceso de degradación, pero sin que sobre ella se hubieran practicado reparaciones significativas, situación que se ha podido fijar a partir de la documentación más antigua, en la que tan sólo se citan intervenciones de cierta entidad en el canal alimentador de Las Muelas y, en menor medida, en la torre de toma; en la obra principal se trata siempre de obras de poca importancia y, casi todas, de carácter urgente para reducir las pérdidas de agua.

A partir de ahí, y por comparación con la estructura actual, se han podido establecer también las consecuencias de la gran rehabilitación de principios del siglo XX. La obra consistió básicamente en eliminar, en el sector principal de la pantalla, parte del macizo de hormigón situado entre la coronación y el muro intermedio. La operación supuso esencialmente rebajar la coronación (excepto el muro-pantalla) algo más de dos metros, donde se dejó un repié de casi un metro de ancho. Desde este repié progresó la extracción en talud del hormigón romano hasta alcanzar la coronación del muro intermedio. En los sectores laterales de la presa, se rebajó también la coronación y, en todo caso, se repicaría la parte exterior y más alterada del paramento, pues en esta zona se trataba de reducir algo menos el talud original. Toda esta amplia superficie se rellenaría después, con material flojo, probablemente, y se cubrió con las piezas recibidas con mortero de cemento que hoy se conservan.

Con ello se modificó sustancialmente el perfil original de la pantalla romana: en el sector principal, una vez limitada a un metro la anchura de la coronación, se redujo la pendiente del talud hasta su posición actual; y en el resto, modificada también la coronación —y eliminados, con ello, los huecos o nichos preexistentes—, se retocó también el talud del paramento hasta igualar su pendiente a la del tramo central y lograr con ello el aspecto homogéneo de la estructura actual.

Para asegurar lateralmente el revestimiento o por simples criterios estéticos, se dispusieron entonces los 22 muros escalonados que hoy se reparten a lo largo de los ciento cincuenta metros centrales del paramento de la pantalla. Por sus dimensiones y posición, 14 de ellos, los más próximos al estribo izquierdo, excepto los dos primeros, deben de situarse en las teóricas líneas de prolongación hacia arriba de los muros que formaban transversalmente la retícula original inferior; los otros ocho se construyeron sin más, para igualar todo el paño superior de la presa actual.

En el reticulado inferior se debieron rehacer, al menos parcialmente —o quizás eliminar—, los muretes que lo formaban, se rellenaron los huecos con material también flojo (los propios deshechos de la excavación del tramo superior, según se desprende de algunos proyectos) y se cubrió todo con un adoquinado recibido con mortero de cemento. En este momento se debió cambiar el perfil de esta superficie, que en la actualidad evidencia un quiebro a mitad de su recorrido, aproximadamente. También entonces se reparó el muro de pie o macizo inferior, al que se había adosado otro para cortar las pérdidas de agua, y se revistió también la zona inferior del paramento, en el resto de la presa.

Comentario final

En resumen, la presa de Cornalvo disponía en época romana de una pantalla planteada con unos criterios que difieren sensiblemente de los aplicados en La Alcantarilla o Proserpina, las otras dos grandes presas de tierra de época romana que se conservan en España.

Sin embargo, esta pantalla, por su morfología y por el peldañeado de aguas arriba, se asemeja mucho a otras presas, sólo de fábrica, construidas por los romanos en España, concretamente Almonacid de la Cuba y, sobre todo, Muel, donde aparece, al igual que la retícula de Cornalvo, un elemento aguas arriba, innecesario también como refuerzo. Estas dos presas son, no obstante, más sólidas que nuestra estructura, sobre todo Almonacid, con numerosas reparaciones en época romana. Pero la presa de Muel y la pantalla de Cornalvo son formalmente muy parecidas. Esta última estaría en el límite de la estabilidad frente al empuje de las aguas sin la presencia del terraplén y, por ello, precisamente, se debió introducir un refuerzo de tierras; en Muel, la estructura de fábrica se hizo más ancha, probablemente porque las condiciones de la cerrada eran aptas para ello. En Almonacid de la Cuba los escalonados de aguas abajo —más o menos centrados en la presa— y de aguas arriba son refuerzos evidentes que, al igual que en Muel y Cornalvo, han asegurado la estabilidad de la estructura durante dos mil años.

La construcción de la presa de Almonacid se ha situado, por sus características y por dos dataciones de C14 que lo confirman, en época de Augusto, con rehabilitaciones que llegan, probablemente, a Trajano (Arenillas, Díaz-Guerra y Cortés 1996a). Para Muel se ha propuesto una fecha quizá algo anterior (Castillo 2002) en función de sus fábricas, que se asemejan a las de algunas obras de época republicana; algo similar, por tanto, a lo planteado por Jiménez (1976) para Cornalvo. Convendría quizá, por ello, reconsiderar las fechas normalmente establecidas hasta ahora para Cornalvo, sobre todo las más tardías, pues un cierto adelanto de tales dataciones —compatible con la fecha temprana que se suele asignar al *Aqua Augusta*— conduciría a una mayor coherencia entre los datos hasta ahora disponibles, relativos a fechas de construcción y tipologías de la media docena de grandes presas construidas en España durante la época romana.

Notas

1. Se usa en este artículo la grafía «Cornalvo» —en lugar de «Cornalbo», que sólo se utiliza de forma casi exclusiva a partir del siglo XX—, por ser la forma que predomina en los textos más antiguos, aunque en la mayoría de los documentos consultados se recurre —en muchos casos simultáneamente— a las dos grafías.
2. Recientemente se ha puesto en duda la existencia de presas de abastecimiento de agua potable en época romana (Feijoo 2005; Feijoo 2006), opinión no probada

y, además, rebatida de inmediato (Aranda et al 2006). Nosotros seguimos manteniendo la autoría romana de la presa de Cornalvo y la utilización de las aguas retenidas por el embalse para el abastecimiento de Augusta Emerita en tales fechas.

3. Para la presa de Proserpina pueden consultarse, entre otros: Arenillas, Martín y Alcaraz (1992) y Alcaraz, Arenillas y Martín (1993). Para La Alcantarilla puede verse Arenillas et al (1999) y Aranda, Carrobles e Isabel (1997), si bien, en un estudio todavía en marcha se están corrigiendo algunas de las tesis mantenidas hasta el momento.
4. La mayoría de los autores (nosotros mismos en anteriores trabajos) apuntan una cronología más tardía para la presa de Cornalvo, que se mueve entre mediados del siglo I d. C. y principios del II, siendo sólo un autor el que ha apuntado la posibilidad de una fecha anterior para su construcción, por sus características formales más cercanas a las construcciones militares republicanas (Jiménez 1976, 113). Ahora, y por los motivos que luego se explican, nos parece más lógica esta última datación.
5. El documento original de 1254, que no hemos podido cotejar, se encuentra en el AHN, Uclés, carp.198, vol. I, 1ª, n.10 (Matellanes 2000, 182).
6. Al ser *bien propio*, el Concejo de la ciudad puede negociar con estos terrenos y emplear las ganancias para otros asuntos del Concejo (Rodríguez 1985, 256)
7. La red barredera abarca desde el fondo hasta la superficie del agua, lo que suponía, si su uso era frecuente, la completa desaparición de los peces de cada enclave. En Mérida, esta técnica estaba prohibida específicamente en las Ordenanzas (Rodríguez 1985, 266)
8. No está muy claro si este texto se refiere a la pequeña presa de derivación de Las Muelas y al canal de trasvase hasta la presa con sus singulares obras de paso sobre distintos barrancos, que quizá servían también como aliviaderos, o para añadir aporte de aguas al canal (C.H. del Guadiana- Ingeniería 75, 1997), o si por el contrario, existía ya la que luego se denominará «charca chica», bajo la obra antigua, que recogía lo que ésta perdía.
9. Ingeniero francés que, bajo el auspicio de Felipe V, fue el primer Director de la Real Fábrica de Tejidos de Talavera de la Reina. (Peñalver 2000).
10. La poca relevancia que debieron adquirir las intervenciones en la muralla de Cornalvo en estas fechas queda reflejada en la documentación, ya que de casi todas las obras realizadas en el Coto se informaba puntual y detalladamente a Campomanes, correspondiendo a las obras de la presa sólo pequeñas anotaciones que encontramos en las cuentas de gastos del Coto, indicadas siempre en último lugar, lo que parece traslucir su menor consideración.
11. Lo absurdo de esta propuesta fue ya apuntado por Macías Liáñez en 1913.
12. Se trata de un documento sin fechar pero que, con toda probabilidad, podemos situar entre el 11 de febrero y el dos de mayo de 1799.
13. Se refiere a su hijo Sabino, ya que Pedro Rodríguez de Campomanes había muerto en 1802.
14. El detalle de los documentos consultados de estos proyectos se recoge en la Bibliografía.
15. Aún faltaría por terminar parte de la coronación y del terraplén, así como la restauración de la torre de toma. Estas obras se debieron concluir en torno a 1924, ya que José Ramón Mélida en 1925 parece ver terminada la presa. El resto de los trabajos en el sistema de Cornalvo (en particular, la nueva presa de Las Muelas y el nuevo canal alimentador, ya que se abandona el antiguo) se concluirán a partir de la década de los años cuarenta.
16. El proyecto presentado por el ingeniero Juan García y García en 1906 fue devuelto para su reforma (detalles y modificaciones). De ello se encargó en 1910 José González y Fernández con un nuevo proyecto, que se aprobó por R.O. de 26 de octubre de 1911, comenzando las obras en diciembre de ese mismo año. De forma paralela se pedirá, además, un estudio sobre la permeabilidad del vaso de la presa y sobre la posibilidad de usar la galería de desagüe ya existente. Dichos estudios serán llevados a cabo por el ingeniero Francisco Rus y Martínez (1912), a quien se le encargarán posteriormente dos proyectos y una memoria sobre el tema (Rus 1913; Rus 1916; Rus 1918).
17. Junto a este muro de pie o macizo inferior, ya existente, se construye —entre 1912 y 1913— un «muro cortina impermeable . . . [que] irá por la parte posterior, perfectamente unido al hormigón del revestimiento antiguo y por la parte superior con el revestimiento definitivo que se proyecta para toda la presa; por la parte inferior se cimentará sobre el terreno firme de arcilla compacta» (Rus 1912). Este muro moderno ha sido identificado también en los sondeos realizados por la C. H. Guadiana (Aranda et al 2006a).

Lista de referencias

Alcaraz Calvo, A; Arenillas Parra, M y Martín Morales, J (1993): «La estructura y la cimentación de la presa de Proserpina». En *IV Jornadas Españolas de Presas.* Comité Nacional Español de Grandes Presas. Murcia.

Álvarez Martínez, J. M, Nogales Basarrate, T; Rodríguez Martín F.G y Gorges, J.G (2002): «Arqueología de las presas romanas de España: Los embalses de Emerita Augusta y de sus alrededores. Estado de la cuestión».

En *Actas del I Congreso de Historia de las Presas*. Mérida.

Álvarez Sáenz de Buruaga, J (1994): *Materiales para la historia de Mérida* (1637–1936). Mérida.

Aranda Gutiérrez, F; Carrobles Santos, J; Isabel Sánchez, J. L (1997): *El sistema hidráulico romano de abastecimiento a Toledo*. Toledo.

Aranda Gutiérrez, F. y Sánchez Carcaboso, J.S (2000): «Las grandes desconocidas entre las presas romanas principales: La Alcantarilla y Cornalbo». En *I Congreso de Historia de las Presas*, tomo I, 267–278.

Aranda Gutiérrez, F; Sánchez Carcaboso, J.S; Balsa Bretón, M; Bernal Couchoud, A (2006a): «Trabajos de caracterización de la presa de Cornalbo». En *Actas del II Congreso Nacional de Historia de las Presas*, Burgos, 353–377.

Aranda Gutiérrez, F; Sánchez Carcaboso, J.L; Andrés Díaz, E; Rodríguez Martín, G; Polo García, Mª E; Sánchez Crespo, R; Gutiérrez Gallego, J.A (2006b): «Las presas de abastecimiento en el marco de la Ingeniería Hidráulica Romana. Los casos de Proserpina y Cornalbo» http://traianus.rediris.es/.

Arenillas Parra, M; Martín Morales, J y Alcaráz Calvo, A (1992): «Nuevos datos sobre la presa de Proserpina». En *Revista de Obras Públicas*, nº 3.311, junio. Madrid.

Arenillas Parra, M; Díaz-Guerra Jaén, C y Cortés Gimeno, R (1996a): «La presa romana de Almonacid de la Cuba», en Hereza Domínguez, J.I (coord.): *La presa de Almonacid de la Cuba. Del mundo romano a la ilustración en la cuenca del río Aguasvivas*. MOPTMA y Gobierno de Aragón, Madrid.

Arenillas Parra, M; Hereza Domínguez, J.I; Jaime Dillet, F; Díaz-Guerra Jaén, C y Cortés Gimeno, R (1996b): «Un ejemplo histórico: el aterramiento del embalse romano de Almonacid de la Cuba». En *V Jornadas Españolas de Presas*. Comité Nacional Español de Grandes Presas. Valencia.

Arenillas, L; Arenillas, M; Díaz-Guerra, C; Macías, J.Mª (1999): «El abastecimiento de agua a Toledo en época romana». En Macías, J.Mª y Segura, C (coord.): *Historia del abastecimiento y usos del agua en la ciudad de Toledo*. Madrid.

Arenillas Parra, M; Díaz-Guerra Jaén, C; Cortés Gimeno, R (2002): *La presa romana de Proserpina* en http://traianus.rediris.es/.

Arenillas Parra, M; Hereza Domínguez, J.I; Castillo Barranco, J.C; Pintor Ruano, Mª C; Díaz-Guerra Jaén, C y Cortés Gimeno, R (2005a): «La presa romana de Muel en el río Huerva (Zaragoza)». En *IV Congreso Internacional de Historia de la Construcción. 27–29 enero*. Cádiz.

Arenillas Parra, M; Hereza Domínguez, J.I; Pintor Ruano, Mª C; Cortés Gimeno, R; Díaz-Guerra Jaén, C; Castillo Barranco, J.C. y Pocino Campayó, S (2005b): «Caracterización estructural de la presa romana de Muel. Primeros resultados». En *II Congreso Internacional de Historia de las Presas. 20–22 de octubre*. Burgos.

Castillo Barranco, J.C (2002): *Tipologías y materiales de las presas romanas en España*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UPM. Madrid. (Tesis. Inédita).

Celestino Gómez, R (1980): «Los sistemas romanos de abastecimiento de agua a Mérida. Estudio comparativo para una posible cronología». En *Revista de Obras Públicas*, nº 3187, 959–967.

Confederación Hidrográfica del Guadiana-Ingeniería 75 (1997): *Estudio de caracterización del sistema hidráulico de las conducciones romanas a la ciudad de Mérida. Mérida (Ba)* (inédito).

Confederación Hidrográfica del Guadiana (2005): *Estudios de caracterización estructural, estabilidad y mejora de las condiciones de seguridad de la presa de Cornalvo. T.M. de Mérida (Badajoz)* (inédito).

Chaves, B (1740): *Apuntamiento legal sobre el dominio solar de la Orden de Santiago en todos sus pueblos*.

Feijoo Martínez, S (2005): «Las presas y los acueductos de agua potable una asociación incompatible en la antigüedad: el abastecimiento en Augusta Emerita». En Nogales Basarrate, T (Ed. científica): *AUGUSTA EMERITA. Territorios, Espacios, Imágenes y Gentes en Lusitania Romana*.

Feijoo Martínez, S (2006): «Las presas y el agua potable en época romana: dudas y certezas». En *Nuevos Elementos de Ingeniería Romana. Actas del III Congreso de Obras Públicas Romanas*. Astorga, 145–166.

Fernández Casado, C (1961): «Las presas romanas en España». En *Revista de Obras Públicas*, junio. Madrid, 357–363.

Fernández y Pérez, Gregorio [1857] (1893): *Historia de las antigüedades de Mérida*.

Forner y Segarra, A. F (1893): *Antigüedades de Mérida, metrópoli primitiva de Lusitania, desde su fundación en razón de colonia hasta el reinado de los árabes*. Mérida.

García y García, J (1906): *Proyecto de reparación del Pantano de Cornalvo*. 16 abril ACHG.

García y García, J (1906): *Planos del Proyecto de reparación del Pantano de Cornalvo*. AGA.

González y Fernández, J (1910): *Proyecto de reparación del pantano de Cornalvo*. 17 septiembre ACHG.

Hereza, J.I (coord.) (1996): *La presa romana de Almonacid de la Cuba. Del mundo romano a la Ilustración en la cuenca del río Aguasvivas*. Gobierno de Aragón-Confederación Hidrográfica del Ebro, Madrid.

Hernández Carretero, A. Mª (2003): «Excavación de un tramo de la conducción hidráulica de Cornalvo y nuevas aportaciones al conocimiento de la sección ocupacional

en la zona de Bodegones». En *Mérida. Excavaciones arqueológicas 2000,* 6, 37–56.

Jiménez Martín, A (1976): «Los acueductos de Emerita». En *Simposio Internacional commemorativo del Bimilenario de la ciudad de Mérida.* Mérida, 111–126.

Lantier, R (1915): «Réservoirs et acueducs antiques de Mérida». En *Annales de la Faculté de Letres de Bordeaux. Bulletin Hispanique*, 69–84.

López Egóñez, R (1922): *Proyecto reformado del de ampliación del embalse* en cumplimiento de lo ordenando en la R.O. de aprobación del 10 de marzo de 1920. ACHG.

Macías Liáñez, M (1913): *Mérida monumental y artística (Bosquejo para su estudio)*. Mérida.

Macías Liáñez, M (1929): *Mérida monumental y artística (Bosquejo para su estudio)*. Mérida.

Márquez Pérez, J (1997): «Intervención en el interior del estadio de fútbol». En *Mérida. Excavaciones Arqueológicas, 1994–1995,* 1,81–94.

Martín Morales, J; Arenillas Parra, M; Cortés Gimeno, R; Díaz-Guerra Jaén, C y Arenillas Girola, L (2000): «La presa de Cornalvo en Mérida». En I *Congreso Nacional de Historia de las presas. 8–11 de noviembre.* Mérida.

Matellanes Merchán, J. V. (2000): «Organización socioeconómica del espacio extremeño: Las encomiendas santiaguistas de Mérida y Montánchez». En *I Jornadas de Historia Medieval de Extremadura.* Salamanca.

Melida, J. R (1925): *Catálogo Monumental de España. Provincia de Badajoz (1925–1926)*. Madrid.

Moreno de Vargas, B [1633] (1974): *Historia de la ciudad de Mérida.*

Peñalver Ramos, L. F. (2000): *La Real Fábrica de Tejidos de Seda, Oro y Plata de Talavera de la Reina. De Rulier a los Cinco Gremios Mayores*. Talavera de la Reina.

Pérez Maestro, C (2005): «Nuevos datos acerca de la conducción hidráulica de Cornalvo». En *Mérida. Excavaciones arqueológicas 2002*, 8, Mérida, 261–279.

Ponz, A (1778): *Viage de España*. Madrid.

Rodríguez Blanco, D (1985): *La Orden de Santiago en Extremadura en la Baja Edad Media, (siglos XIV y XV)*. Badajoz.

Rus y Martínez F (1912): *Memoria de los trabajos de investigación para la reparación del Pantano de Cornalvo*. 14 de septiembre. ACHG.

Rus y Martínez, F (1913): *Replanteo del proyecto de reparación del Pantano de Cornalvo*. 30 de septiembre. ACHG.

Rus y Martínez, F (1916): *Proyecto de ampliación del embalse del Pantano de Cornalvo*. 14 de marzo. ACHG.

Rus y Martínez F (1918): *Memoria que el ingeniero D. Francisco Rus y Martínez presenta en cumplimiento de lo dispuesto en el R.O. de 29 de octubre de 1918*. ACHG.

Abreviaturas utilizadas

AC:	Archivo de Campomanes.
ACHG:	Archivo de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.
AGA:	Archivo General de la Administración.
AHN:	Archivo Histórico Nacional.
AMM:	Archivo Municipal de Mérida.
RABASF:	Real Academia de Bellas Artes de San Fernando.

Fuentes escritas e historia de la construcción: contribuciones de la documentación administrativo-contabilística

Joana Balsa de Pinho

En una época en que los modos de trabajar y los instrumentos de trabajos son cada vez más diversificados y sofisticados, se hace urgente reflejar sobre las metodologías utilizadas, expresamente en áreas de estudio que, por su naturaleza, son más sensibles a la inter y transdisciplinariedad.

La historia de la construcción es una de esas áreas en que existen diferentes miradas pues son diversificados los profesionales que a ella se dedican. Este contexto proporciona que cada investigador, en el desarrollo de sus estudios, recurra a diferentes tipologías de fuentes; siendo que cada uno irá privilegiar una u otra tipología en función de su área de formación, metodología de trabajo o área de investigación la que se dedica. Diferentes tipos de fuentes suministran diferentes informaciones, elementos y conocimientos, pelo que se debe utilizarlas de forma complementaria, o sea, recurrir a diferentes fuentes y maximizar el potencial informativo que cada una disponibiliza.

Así, partiendo del análisis de un conjunto de documentos dela cuenta del pagador Luis Neve existentes en el Archivo General de Simancas y referentes a las fortificaciones de Lisboa, construidas o readaptadas durante la época de la Unión Ibérica (1580–1640), buscamos destacar las diferentes contribuciones que las fuentes escritas de ámbito contabilistico pueden proporcionar para la historia de la construcción de los siglos XVI–XVII.

Las fuentes escritas

En los distinguidos ramos del conocimiento se identifican como fuentes para el estudio de cualquier temática los elementos materiales o inmateriales que suministran informaciones directas o indirectas sobre ese tema, que permiten informar, conocer, analizar y reflexionar sobre varios elementos y cuestiones.

Existen diferentes tipologías de fuentes, que genéricamente se pueden dividir en escritas, o documentos escritos, y no escritas. En estas últimas se encuentra las fuentes fotográficas, gráficas, cartográficas, iconográficas. Otros elementos pueden también ser consideradas fuentes, una vez que suministran informaciones directas o indirectas sobre cualquier realidad, es el caso del propio objeto de estudio y de los bienes culturales, inmuebles, muebles y integrados, en sus más varias manifestaciones. Cada tipo de fuente corresponde una información o un conjunto de informaciones que es diferente y específica en función de la tipología de la fuente.

Independientemente de la riqueza informativa que cualquier tipología de fuente potencía, las fuentes escritas suministran elementos únicos, coevos, que no se puedem encontrar en otro tipo de fuentes y corroboran inequívocamente lo que los otros tipos de fuentes indician; al documento escrito se atribuye valor probatorio, valor de prueba y testimonio.

Cada investigador, dependiendo de su área de formación base y áreas de formación complementarias

irá a privilegiar uno u otro tipo de fuentes en los estudios que realiza. El historiador, el historiador del arte, el historiador de la arquitectura, el historiador de la ingeniería, el historiador de la construcción, por las condicionalismos impuestas por su área de formación, cuya metodología asienta en la investigación, consulta, análisis y cotejo de fuentes escritas, irá destacarlas en sus estudios.

Algunas fuentes escritas, incluyendo las que presentamos en este estudio, posibilitan conocer mejor el monumento u obra a que se refieren, siendo relevantes para la definición de su historia; posibilitando, expresamente definir una datación, reconstituir la evolución de la construcción, así como esclarecer las opciones que se fueron haciendo, reconstituir el ritmo de las obras y posibilitar la identificación de maestros y trabajadores. Sin embargo, esas mismas fuentes, suministran otros importantes, creíbles, y por veces, sorprendentes elementos, inclusive para la historia de la construcción. De estos elementos destacamos el origen y utilización de materiales, técnicas y procesos en función de la obra, referencias a herramientas y medios auxiliares para la construcción, la organización del trabajo y los principales oficios.

Contaduría Mayor de Cuentas y la documentación adminstrativo-contabilística

La documentación a que se refiere este estudio pertenence a la cuente de Luis Neve, «pagador de la gente de guerra y obras del Castillo de Lisboa y de los de su Ribera y Comarca» y está relacionada con la fortificación de Lisboa, designadamiente con el fuerte de S. Julião da Barra,[2] intervencionado durante la época de Unión Ibérica, los años de 1582–1586. Esta documentación integra el fondo Contaduría Mayor de Cuentas del Archivo General de Simancas; este archivo es un archivo nacional instalado en el castillo de Simancas y su origen llega a 1540, cuando Carlos V mandó guardar el primer conjunto documental en un de los torreones del castillo.

Años más tarde, Filipe II decide dedicar todo el espacio del castillo a archivo y encarga el arquitecto Juan de Herrera de realizar las trazas para adaptar el edificio, de forma a poder guardar los documentos procedidos de los organismos centrales de la monarquía española y de los organismos administrativos que auxiliaban el rey a solucionar múltiplos y varios asuntos. Este organismos se designaban por Consejos y existían tantos como los territorios que constituían el reino (Castilla, Aragón, India, Italia, Flandres, Portugal) y materias generales que lo afectaba (Estado, Guerra, Hacienda, Inquisición, Órdenes, Cruzadas). La mayoría de la documentación proveniente de los Consejos está en el Archivo General de Simancas por eso este archivo se asume cómo uno de los más relevantes para el estudio de la Época Moderna y de los territorios que formaron parte del imperio español.

La Contaduría Mayor de Cuentas, fondo a que pertence la documentación analizada, era el organismo máximo de vigilancia y fiscalización sobre la rectitud de todas las gestiones y actos efectuados con dineros de la Hacienda Real. Su origen remonta, probablemente, a finales del siglo XIII y en 1401 aparece por primera vez la expresión contadores mayores de cuentas. El siglo XVI con la creación y consolidación del Consejo de la Hacienda, la Contaduría Mayor de Cuentas ve su campo de acción ampliado al mantener todas sus funciones, pero sujeta a las instrucciones del Consejo de la Hacienda.

Desde los primeros años de su existencia, el Archivo de Simancas recibió documentación de las Contadorias; registrándose un importante núcleo de documentos ya en 1563 y diferentes remesas de documentación durante la segunda mitad del siglo XVI y XVII.

Este fondo está organizado en 4 secciones: Contaduria Mayor de Cuentas, 1ª Época, 1470–1682, con 1.912 legajos; Contaduría Mayor de Cuentas, 2º Época, 1513–1617, con 1.241 legajos; Contaduría Mayor de Cuentas. 3ª Época, 1505–1712, con 3.557 legajos; Tribunal Mayor de Cuentas, 1508–1789, con 4.694 legajos.

Esta Contadoría se organizaba con dos (o más) contadores mayores de cuentas que eran auxiliados por sus tenientes; existían aún los contadores menores distribuidos por oficios: contadores de libros y contadores de resultas. Los primeros tenían como función asentar los despachos y provisiones y los segundos estaban encargados de ordenar y comprobar las cuentas y definir alcances o resultas; aún colaboraban algunos escrivães, un relator, un procurador fiscal, asesores y otro personal.

Los legajos de la Contaduría Mayor de Cuentas se presentan muy heterogéneos y con una gran diversidad de tipologías documentáis. Centrémonos en los

legajos que corresponden a las cuentas del pagador Luis Neve y referentes a las fortificaciones de Lisboa: legajos 780, 784, 1742 y 1890, de la 1ª época y legajos 503, 538 y 540 de la 2ª época. Estos libros de cuentas eran elaborados por los contadores de resultas en consecuencia de su actividad de comprobar las cuentas, o sea, de un complejo proceso de intervención, fiscalización, confirmación de las cuentas de los pagadores y tenedores.

Para la elaboración de estos libros se seguía un procedimiento específico: por los libros duplicados, cada contador debería glosar el suyo; en este proceso se destacan como funciones específicas: comprobar las partidas de «cargo y data» confrontando la relación jurada y firmada del pagador con otros documentos elaborando los libros de cargo y fecha.[3]

Los legajos en estudio, así como otros existentes en el mismo fondo, presentan diversas tipologías documentales; las principales son en función de los productores de los documentos, por otras palabras, reflejan y están condicionadas por la actividad del pagador, tanto de recibimientos como de pagos y resultan de los procedimientos de la época inherentes cada a una de esas acciones:

- «Relación jurada y firmada de cargo».[4] Existe la relación de jurada y firmada de «cargo» del dinero que entró en poder del oficial por cuenta del rey.
- «Relación jurada y firmada de data».[5] Pueden existir varios tipos de relaciones juradas de «data» (pagos a la infantería, a la artillería, de medicinas; de obras y fortificaciones; de compras; de fletes de navíos, carabelas y sueldos de la gente embarcada; de gastos extraordinarios; al hospital; de remates y fenecimientos de cuentas).
- [Libro de] «Cargos».[6] Existe el libro de cargo que se hace al oficial de los maravedis que recibió y entraron en su poder por cuenta del rey.
- [Libro de] «Data».[7] Pueden existir varios tipo de «datas» («data» de pagos a la infantería, de sueldos y remates de cuentas, de obras y fortificaciones, de gastos extraordinarios, de compras, de fletes de trigo y otras cosas, de medicinas, al hospital, de sueldos del maestro de campo y a otros oficiales preeminentes, a la artillaría);
- Libranza;[8]
- «Nomina»;[9]
- «Recaudos».[10]

Las restantes tipologías documentales que se encuentran en estos legajos no son producidas directamente por la actividad del oficial pero, se revelan indispensables a la su actividad, es decir, son la justificación y base para su acción de pagar, generalmente sobre la forma de copias o traslados:

- «Titulos» o nombramientos;10
- Instrucciones;11
- Órdenes varias.12

Como documentación antigua y de cariz administrativo cada una de las diferentes tipologías documentáis siguen una estructura/formulario rígido que se repite en los ejemplares de la misma tipología.

HISTORIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CONTRIBUCIONES DE LA DOCUMENTACIÓN CONTABILÍSTICA

El estudio de la historia de la construcción recurre a diferentes tipos de fuentes escritas, gráficas, fotográficas, entre otras y al propio objeto de estudio y sus similares. Entre ellas, las fuentes escritas, son de las más utilizadas y también de las más relevantes para el conocimiento de la construcción antigua. También dentro de las fuentes escritas podemos encontrar diferentes tipos y cada una de esas tipologías suministra informaciones y posibilita conocer y estudiar diferentes aspectos de la historia de la construcción. Por otras palabras, el tipo de informaciones y contribuciones, grado de profundización y especificidad, que se recogen en las fuentes escritas varían en función de las tipologías documentáis que se consultan.

Las fuentes de ámbito contablístico presentan algunas particularidades que deben ser aprovechadas, maximizando su potencial informativo. Una de las principales especificidades aparece reflejada en las tipologías documentales que pueden aparecer y que están relacionadas con la producción y función de estos documentos: controlo del dinero recibido y gasto. Así para además de las tipologías comunes y características de este tipo de documentación, como las relaciones juradas y libros de «cargo» y «data», aparecen «titulos», nombramientos, instrucciones que orienta-

ban la actividad del oficial, validándola y que suministran importantes elementos complementarios.

Una otra particularidad se relaciona igualmente con la producción y función original de la documentación. Esta documentación contabilistica (relaciones juradas, libros de «cargo» y «data», «recaudos» y libranzas) deberían servir como justificación y acreditativo de la acción del oficial, es decir, de los recibimientos y pagos que hacía, por eso era registrado con grande pormenor cuanto se pagaba, lo que se pagaba y a quién se pagaba. Este procedimiento es válido tanto para las compras más sencillas, indicando a quién se compraba y para que se destinaba la compra, como para gastos más considerables como la construcción y/o readaptación de una fortaleza, onde se indica lo que se pagó, el nombre de la persona a quién se pagó, oficio que ejercía, cuanto recibía por día, cuantos días trabajó. Consideramos que los propios oficiales pondrían el mayor cuidado en este registro pues eran responsables por el dinero que pertenecía al rey y que les estaba confiado y porque tendrían que dar cuenta de él, o sea, si los recibimientos y los pagos no coincidieran, la diferencia tendría que ser pagada por el oficial a la hacienda del rey. Y es precisamente esta situación que va a originar la riqueza informativa disponibilizada por las fuentes contabilísticas.

Analizaremos de seguida las contribuciones que las fuentes escritas en estudio pueden proporcionar para la historia de la construcción en finales del siglo XVI y siglo XVII.

Materiales

En las fuentes escritas en análisis son abundantes las referencia a los materiales utilizados en la construcción y readaptación de la fortaleza de S. Julião, quiere indicándolos quiere refiriendo su proceso de fabrico quiere indicando sus locales de origen.

Los materiales son indicados nominalmente: piedra, cal, teja, clavazón, ladrillo, herrajes y chapas, madera, mampostería, tierra, barro y agua. Se destacan las referencias la diferentes tipos de madera (tablazón, tablas, tablas de castaño, tablas de piño, tablas de piño de la Flandres, vigas, vigas de roble, vigas de roble de la Flandres, vigas «dobladas», «coçeras» («cozeras»), «coçeras» de castaño, «ripa», «terciadas»), la diferentes tipos de piedras (piedra del molde grande, piedra del molde pequeño, «capelo», «espiracos» o «espiaculos», piedras de «estrelas», lajas) y la diferentes tipos de clavazón (clavos de diversos tipos, tachas grandes, tachas pequeñas, clavos de «gallota» grande, clavos de «gallota» pequeña, clavos de tejado, clavos «coutares» o «cautares», clavos «de forrar», clavos «de cintar», clavos «de ripar», clavos grandes de cabeza de diamante).

Son también brevemente abordados algunos proceso de fabrico de materiales expresamente de la cal y del «betume». Se explicita la compra de piedra, tojo y restantes materiales necesarios a la cocedura de la cal en los hornos y el proceso de desenhornar y sacar la cal del horno. Relativamente al «betume» se indica la compra de «aceite», «piedra de lino» y estopa para hacer la masa y betume de las obras para asentar a cantaría, para «cimientos» de las obras y para «fundar el foso».

El origen de algunos de los materiales utilizados aparece referida en los documentos indiciando que se privilegiaban los locales cerca de la obra. Es el caso de las pedreras en Catalazete, Raposeira y Rana, de los hornos de cal junto a la fortaleza, en Lisboa, Paço de Arcos, Laveiras y aún en Almada y Sesimbra y de los hornos de ladrillo y tejas en Almada.

Es también referido el transporte de los materiales: el medio de transporte mas utilizado era el barco, principalmente para el transporte de la cal que venía de Lisboa y Almada, así como del ladrillo y tejas que se adquiría en Almada y Alhandra y de la clavazon, madera y otros materiales que venían de Lisboa. Dentro de la fortaleza el transporte de los materiales, entre los varios locales donde transcurrían las obras, se hacía recurriendo a «carros»; era también utilizando este medio que llegaba la piedra de la pedrera de Catalazete.

Elementos

Dispersos en la documentación surgen referencias a los diferentes elementos constructivos utilizados en la obra hecha en el fortaleza de S. Julião: bóvedas, sobrados, paredes, murallas, chimeneas, tejados, casas de madera, escaleras, cubiertas, lumbreras, canalizaciones, portales, columnas. Para su construcción se recurría a diferentes materiales: sobrados en madera, escaleras en madera y en piedra, casas de piedra y cal, casas de ladrillo, bóvedas de ladrillo, pare-

des y murallas en piedra, lumbreras de ladrillo, algunos pavimentos revestidos la ladrillo.

Estos elementos se utilizan en los diferentes espacios que componen una fortaleza: casas para alojamiento de los soldados, casas-mata, garitas, camino cubierto, terrapleno, caballero, parapeto, baluarte, foso, cisterna, cortina, contrafuertes, «orejón», revellín, batiría, plaza de armas, plaza baja, almacenes, iglesia.

Herramientas y medios auxiliares

En las fuentes escritas en análisis existe la discriminación de diferentes tipos de herramientas y de algunos medios auxiliares a la construcción. En la mayoría de las veces las referencias son genéricas: herramientas, herramientas de las canteras y herramientas de las obras, normalmente que se hacían o aderezaban.

Sin embargo, existen también otras más especificas que identifican las herramientas utilizadas para servicio de las obras y de las pedreras: astiles de palo, astiles de «açadones» (azadones), astilos de picos, picos, astiles para «marrones», cabos de «marrones, marrones, palmetas» de hierro, cuñas de la «cabuquero», mangos de picones y picaretas, «rodos» de hierro.

Algunas veces está indicado el número de herramientas hechas o aderezadas, llevándonos a suponer que fueran en gran cantidad; suposición corroborada por la existencia de pagos por el alquiler de una casa donde se guardaban las herramientas utilizadas en la obra.

Los medios auxiliares para la construcción se destacan por su diversidad: barriles, tinas, baldes, pipas, cestos, cestos de verga, cuerdas, cuerdas de lino y esparto para mover la piedra, serones, serones de esparto, algunos destinados a descargar la cal, palas de hierro y madera, palancas de hierro, vigas y tablas, «botas» para agua, bomba para agotar agua (con chapas de hierro y guarnecidas con cuero), «seras» de esparto para transportar clavazón y otros materiales; pincéis grandes para encalar.

Se registra aún la utilización de un número razonable de bestias y cabalgaduras que sirvieron en las obras, expresamente haciendo el transporte de materiales para y en la fortaleza y en diferentes trabajos como los que se hacían en los terraplenos.

Técnicas

En la documentación en estudio las referencias a técnicas y modos de hacer son poco desarrolladas; las acciones la que se dedicaban los maestros, oficiales y trabajadores de la obra del fuerte de S. Julião son genéricamente identificadas por: «reparar», forrar, sobradar, enmaderar, guarnecer, empedrar, asentar, no especificando el modo como lo hacían.

Es posible sin embargo identificar la relación entre algunas técnicas y algunas de las obras, así: las casas del alojamiento eran enmaderadas; las plazas de los baluartes, la plaza de armas, las calles de las casas nuevas, el cuerpo de guardia viejo, los pasillos de bajo de las bóvedas y los caballeros eran empedrados; los caños de piedra que conducían el agua de las lluvias desde uno de los baluarte hasta la cisterna eran cubiertos con lajas; los baluartes y murallas eran edificados con pedrería y mampostería; la muralla y los baluartes incluían pedrería que era asentada con betume; el foso y cava eran guarnecidos; se rompía y se retiraba pizarra y piedra para fundar la muralla y guarnición del foso; las casas, parapetos y baluartes eran guarnecidos y enlucidos o encalados; los parapetos, baluartes y cuerpo de guardia eran remolcados.

Especificamente se encuentra indicada una técnica utilizada debido a la localización de la fortaleza: para poderse cimentar los cimientos del camiño cubierto fue necesario que, durante algunos días y noches, varios trabajadores, que asistieron en los «alicerses» del foso, estuvieran dando ala bomba y agotando el agua para labrarse en los cimientos de la cortina.

Aún se refiere la utilización de cimbres en madera seguramente de apoyo a la construcción de arcos y bóvedas y de cuerdas de lino y esparto para «carrear» la piedra y para «tiradores», responsables por la movimentación de la piedra, y la aplicación de cuerda para «cordiar» y medir las murallas.

Oficios

Son igualmente abundantes las referencias a los oficiales que trabajaron o que prepararon y/o suministraron materiales para la obra de construcción y readaptación de la fortaleza de S. Julião. Así, se puede organizar los oficiales en dos grupos, los que interfieren directamente en la obra: pedreros, albañiles,

carpinteros, «cabuqueros», servidores, «mariolas» o marioles, carreros, almocreves (lo que transporta en bestias de carga), serradores, peones, bagajero, empedrador.

El segundo grupo se refiere al oficiales que preparan o suministrar materiales y herramientas o utensilios utilizados en la obra: herreros, tejero o maestro de hacer tejas, caleros o maestro de hacer cal, arrancadores/rompedores de piedra y mampostería, cantero (lo que labra la piedra), barqueros, tonelero, entallador/escultor, espartero (lo que hace o vende obras de esparto).

La obra realizada en S. Julião, probablemente debido a la su complejidad, número de trabajadores y proveedores de materiales que envolvía, disponía de un otro conjunto de oficiales de carácter directivo/orientativo y administrativo: capitán ingeniero del rey, el maestro de la obra (que también certificaba algunos de los gastos), el merino (que servía el oficio de conducción de materiales, pertrechos y gentes de las obras), los sobrestantes (capataz, fiscal de obreros; superintendente), los apuntadores (que servían en apuntar la gente que trabajaba en las obras), el vedor, el contador y el pagador.

Relativamente al locales de reclutamientos de los profesionales y de los proveedores de materiales, es fácil percibir que se privilegiaron los locales mas cerca de la obra, designadamiente: Oeiras, Barcarena, Carcavelos, Parede, Cascais, Ericeira, Colares, Sintra, Alcabideche, Penha Longa, Rio de Mouro, Milharada, Lisboa, Belém, Lisboa, Pampulha, Alcântara, Benfica, Almada, Setubal, Ponte da Barca, Alcochete.

Organización del trabajo

De acuerdo con las informaciones disponibilizadas por las fuentes escritas en estudio, la organización del trabajo se hacía recurriendo la dos situaciones diferentes: un grupo de oficiales o trabajadores que trabajan al destajo, es decir, a la tarea, un ajuste que se hace para la ejecución de una obra y cuyo gasto se establece con antelación con quien la emprende; o un oficial o trabajador que individualmente trabaja a «jornal», es decir, en cambio de un salario por día de trabajo.

En el primer grupo se integran varios oficiales, expresamente, pedreros, albañiles, «cabuqueros», «almocrebes», bagajeros y otros, que participaron en los diferentes trabajos relacionadas con los baluartes, foso, terraplenos y muralla. En el segundo grupo, se registran también diferentes oficiales, principalmente, albañiles, carpinteros, «cabuqueros», carreros, sobrestantes, apuntadores, peones, canteros y rompedores de piedra.

Se esclarece aunque algunas de las obras hechas en la fortaleza fueron concertadas, ante escribano, entre el oficial/trabajador y el capitán ingeniero del rey; destacamos la chapería y guarnición de las puertas principales del fuerte que deberían ser según la forma y condición acordada entre ambos y la chapa y guarnición del foso también a realizar conforme el acordado.

Consideraciones finales

El análisis que presentamos sobre las contribuciones que las fuentes escritas de ámbito administrativo-contabilístico pueden dar para la historia de la construcción demuestra como un estudio de caso puede ser importante para abrir perspectivas para el conocimiento de una realidad más vasta.

La relevancia de las fuentes escritas para la historia de la construcción y la necesidad de ampliar la investigación a diferentes tipologías de fuentes escritas son dos elementos incuestionables. La documentación en estudio, que puede parecer limitativa, repetitiva y monótona va lentamente dejando trasparecer una riqueza y especificidad informativa que puede ser un importante recurso para la historia de la construcción.

La contribución principal de estas fuentes podrá relevarse de ámbito local o micro-histórico, pues se refiere la zonas geográficas restrictas, sin embargo, no será difícil generalizar los importantes y específicos elementos que nos suministran, cotejandolos y complementándolos con otras fuentes de información.

Notas

1. Licenciada en Historia, Variante Historia del Arte por la Facultad de Letras de la Universidad de Lisboa. Doctoranda en Arte, Patrimonio y Restauración en la misma Universidad, con tesis sobre la influencia de las

cofradías de la Misericordia en la Arquitectura quinientista portuguesa. Becaria de investigación científica en diversos proyectos, y desde Diciembre de 2006, de un proyecto que tuvo como objetivo la identificación y sumario de los documentos existentes en el Archivo General de Simancas, referentes a las fortalezas y historia de las islas de Azores. Participó en diversos cursos, acciones de formación, coloquios y conferencias sobre historia del arte, patrimonio cultural, conservación y museología. Contacto: jbalsa@clix.pt.

2. La fortaleza de S. Julião da Barra, localizado en Oeiras, fue una importante fortaleza que coordinaba la estrategia defensiva basada en los fuertes localizados entre la Ribera de Algés y la Punta de Rana. La primitiva construcción remonta al siglo XVI, habiendo sido alterado en siglos sucesivo hasta la introducción de un faro. En la primera mitad del siglo XX el fuerte pierde su función militar en y es actualmente la residencia oficial del ministro de los Negocios Extranjeros de Portugal
3. Documentos por los cuáles si carga determinada partida al oficial, o sea, por los cuáles se comprobaba el *cargo*: Recetas de otros oficiales del sueldo (veedores y contadores); Recetas de los comisarios que tomaban otras cuentas, expresamente en Lisboa u otros locales; Relaciones de los contadores de los Cuentos de la corona de Portugal. En el caso de las «data», títulos datos a los oficiales del sueldos, maestros de campo, gobernadores y capitanes, instrucciones respectivas de los titulos, libranza o «recaudo» correspondiente a cada partida, «toma la razón» por los veedor y contador y con la declaración del pago; traslado de capitulo de carta o cédula del rey; otros documentos, tal como, órdenes específicas.
4. Relación jurada y firmada de «cargo» producida por el pagador o tenedor, generalmente organizadas por años, con varias partidas cada una correspondiente a un recibimiento, en cada partida la cantidad de dinero que recibió, de quien recibió, y porque recibió.
5. La relación jurada y firmada de «data» producida por el pagador o tenedor; generalmente organizadas por años, con varias partidas cada una correspondiente a un «recaudo» o libranza por lo cual el pagador procedió a un pago; en cada partida la fecha del «recaudo» o libranza, el valor que pagó, a quien pagó y lo que se pagó.
6. Libro de «cargos» producido por el contador de resultas referente al dinero que recibió el pagador o tenedor; generalmente organizadas por años, con varias partidas, cada una con el valor que si carga al oficial, fecha en que lo recibió, de quien recibió y porque recibió. Producido recorriendo a la confrontación de la relación jurada y firmada del oficial con otros documentos
7. Libro de «data» producido por el contador de resultas referente al dinero que el pagador o tenedor pagó la diferentes personas o por diferentes cosas; estaban generalmente organizados por años, con varias partidas cada una con el valor que debe ser recibido en cuenta al oficial, a quien pagó ese valor, lo que fue pagado, local y fecha en que fue dada la libranza o «recaudo» y quién a dio, quien «tomó la razón» de ella. Producido recorriendo a la confrontación de la relación jurada y firmada del oficial con otros documentos
8. Las libranzas eran hechas por el contador y firmadas por el maestro de campo o gobernador y libraban dinero o géneros individualmente
9. Las «nominas» eran hechas por el contador y firmadas por el maestro de campo o gobernador y libraban dinero o géneros en colectivo.
10. Los «recaudos» eran suscritos por el maestro de campo o gobernador, servían como fianza para que el oficial pudiera recibir en cuenta el dinero que pagó.
11. Nombramientos y «titulos» datos por el rey, gobernador, maestro de campo o capitán a varios oficiales, maestro de campo o gobernadores, indicando las funciones básicas del oficio y el sueldo a recibir.
12. Instrucciones dadas por el rey, gobernador, maestro de campo o capitán indicando com pormenor las funciones del oficio.
13. Órdenes varias para que sean cumplidas por los oficiales, relativas al modo de ejercer el suyo oficio.

I solai lignei del XV secolo in Italia centrale: il caso di palazzo Carli a L'Aquila

Carla Bartolomucci

I solai piani a struttura lignea sono elementi costruttivi soggetti, nel corso del tempo, a ripetuti interventi di manutenzione e riparazione, che spesso hanno determinato radicali rifacimenti e sostituzioni. Per questo motivo gli esemplari rimasti sono di particolare interesse, soprattutto in quei casi in cui essi non hanno subito rilevanti trasformazioni successive ed è possibile, quindi, osservarne le tecniche di esecuzione, gli accorgimenti costruttivi e le finiture originarie.

Dal punto di vista tecnologico-costruttivo i solai in legno realizzati in Italia nei secoli XV–XVI, pur presentando numerose varianti, possono essere suddivisi in due grandi categorie:

- solai ad orditura semplice, costituiti da sole travi su cui poggia direttamente l'impalcato, costituito da tavole o da pianelle in laterizio disposte tra una trave e l'altra;
- solai ad orditura composta, costituiti cioè da travi principali su cui è posta l'orditura secondaria di travicelli, con tavolato sovrastante.

Il primo tipo di solai, per lo più diffusi nell'Italia settentrionale a causa della maggior disponibilità di legname di cui necessitano, ha la caratteristica di utilizzare molte travi, poste a distanza ravvicinata, ma consente una facile esecuzione ed uno spessore complessivo abbastanza esiguo.

Al contrario, la peculiarità del secondo tipo di solai, più evoluti dal punto di vista tecnologico-costruttivo ma che comporta spessori più rilevanti, è quella di consentire un notevole risparmio circa il numero di travi principali (negli ambienti piccoli ne è presente solo una, in mezzeria), poste ad una distanza compresa tra i 2–3 metri. Proprio per questo motivo tali solai sono usati maggiormente nell'Italia centro-meridionale, lì dove la disponibilità di legname, soprattutto di grosse dimensioni, è più limitata.[1]

Sotto il profilo strutturale quest'ultimo tipo di solai, molto diffuso a Roma, fu criticato da Milizia[2] poiché l'orditura primaria è molto sollecitata e, nel caso di collasso di una trave, c'è il rischio di crollo dell'intera struttura; diversamente nel tipo ad orditura semplice, in cui il carico è ripartito su una serie di travi affiancate, i rischi sono decisamente minori e la sostituzione di un elemento è sicuramente più semplice.

Il solaio oggetto di studio, realizzato negli ultimi decenni del XV secolo, appartiene al secondo tipo, ovvero è un solaio ad orditura composta con travi principali poggianti su mensole lignee.

Note storiche sull'edificio

Il palazzo Carli a L'Aquila (Abruzzo) fu costruito nella seconda metà del XV secolo su un'area in cui c'erano dipendenze del monastero celestino di S. Maria dei Raccomandati, fondato nel 1373. I lavori terminarono nel 1494, come attestava la data sullo stemma, oggi scomparso, posto sul portale d'ingres-

so.[3] L'edificio, ed in particolare il cortile, è attribuito a Silvestro Aquilano per l'armonia delle proporzioni, le particolarità dell'impianto planimetrico e la finezza dei particolari scultorei; testimonianza di relazioni tra l'artista e la famiglia Carli risultano da strumenti notarili del 1502 e 1508.[4]

Alcune particolarità costruttive, tra cui l'ingresso fuori asse rispetto al cortile (fig. 1), oltre a diverse incongruenze tra le strutture del piano seminterrato e quelle dei due livelli superiori, rivelano che il palazzo quattrocentesco fu costruito su edifici preesistenti, riutilizzando strutture murarie medievali; tracce di questi edifici sono visibili lungo le strade laterali.[5]

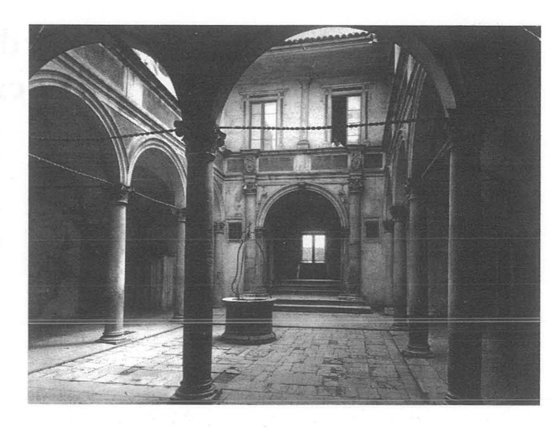


Figura 2
Foto del cortile

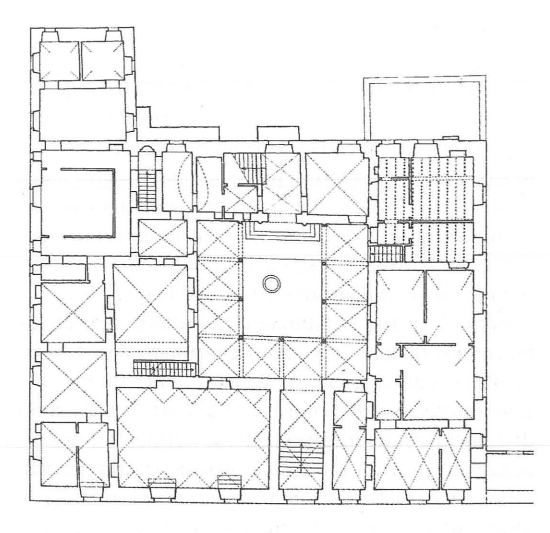


Figura 1
Pianta del piano-cortile

Il cortile è costituito da un porticato su tre lati con archi a tutto sesto su colonne, mentre il quarto lato è occupato da uno scenografico portale d'accesso allo scalone che conduce al piano superiore, che presenta un loggiato successivamente tamponato (fig. 2).

Il palazzo fu abitato dalla famiglia committente solo per alcuni decenni, poiché nel corso del XVI secolo venne costruita una nuova e ben più ampia residenza di famiglia in piazza dell'Annunziata; nel 1642 parte di esso venne venduta alle monache celestine di S. Maria dei Raccomandati, che nel 1702 acquisirono la parte residua, formando così un complesso unico con il monastero adiacente.[6]

In seguito al terremoto del 1703 l'edificio venne ristrutturato per iniziativa di Ludovico Quatrari[7] e verso la metà del XVIII secolo fu di nuovo abitabile, ma frazionato in quattro appartamenti dati in affitto; da allora il palazzo, pur conservando la funzione residenziale, è suddiviso in diverse proprietà.

Nel 1947 l'edificio fu restaurato dal soprintendente Gino Chierici, come testimonia la data incisa su uno dei capitelli reintegrati nel cortile.[8]

Descrizione del solaio

Tra gli elementi di maggior rilievo nel palazzo si può osservare, in una sala al piano del cortile, un pregevole solaio ligneo con dipinti all'intradosso. Esso è di notevole interesse perché è l'unico attribuibile alla fasi originarie di costruzione dell'edificio, oltre al fatto che tutti gli altri orizzontamenti sono costituiti da volte (per lo più a botte nel piano seminterrato, a crociera nel piano terra, mentre quelle presenti al piano superiore non hanno una funzione statica, ma fungono da controsoffitto).

Dal punto di vista strutturale il solaio è costituito da due grosse travi (luce 7 m circa) su cui è posta l'orditura secondaria di travicelli e tavolato sovrastante; le travi poggiano su mensole lignee intagliate, che hanno la funzione di ridurre la luce libera di inflessione (ognuna di esse sporge 60 cm dal muro). Le

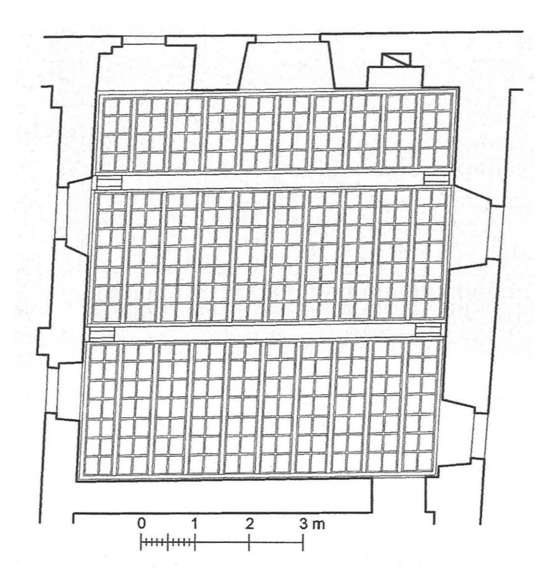


Figura 3
Pianta del solaio

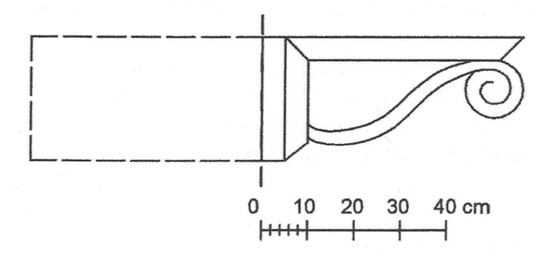


Figura 4
Particolare di una mensola lignea

dimensioni degli elementi strutturali sono circa: 30 × 50 cm le travi principali (dimensioni della fodera esterna), poste ad una distanza di circa 2,5 m tra loro, e 10 × 15 cm i travicelli, disposti ad un interasse di 60 cm.

Le travature che formano l'orditura principale sono rivestite da fodere lignee costituite da pannelli finemente decorati; al contrario l'orditura secondaria è a vista e presenta la decorazione pittorica eseguita direttamente sui tre lati visibili dei travicelli.

Il tavolato che costituisce l'impalcato è rifinito, all'intradosso, da regoli coprifilo nel punto di accostamento delle tavole, con lo scopo di sigillare i giunti ed impedire la caduta di polvere dal massetto; i regoli sono disposti in modo tale da formare delle riquadrature, con al centro una stella dorata. In realtà solo i regoli ortogonali ai travicelli, ovvero paralleli alle tavole, hanno la funzione di coprifilo, mentre gli altri svolgono una pura funzione decorativa.[9]

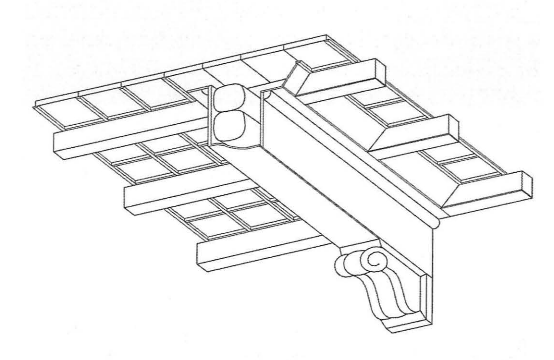


Figura 5
Particolare assonometrico del solaio

Nel corso del restauro è risultata evidente la ricchezza di tali decorazioni pittoriche, che, inizialmente, non erano distinguibili perché coperte da vari strati di imbiancatura: infatti non solo le travi principali, ma tutti i travetti secondari, i listelli, le bussole, i regoli e tutti gli elementi di finitura sono anch'essi dipinti, con una complessità decorativa piuttosto inconsueta rispetto ad altri esempi all'incirca coevi (es. nel solaio di palazzo Fibbioni a L'Aquila, del secolo XVI, la decorazione pittorica è presente solo sulle travi principali).

I soggetti raffigurati —tra cui i pavoni, simbolo della famiglia Carli, incorniciati da ghirlande e motivi vegetali— permettono di attribuire una datazione dell'opera al periodo originario di costruzione dell'edificio o agli anni immediatamente successivi (fig. 6); in ogni caso non oltre la metà del Cinquecento dato che la famiglia committente, in quel periodo, lasciò il palazzo per trasferirsi nella nuova residenza in piazza dell'Annunziata.[10]

Le travi principali sono formate da due tronchi sovrapposti, l'uno in posizione inversa rispetto all'altro; tali elementi non sono squadrati, ma solo grossolanamente sbozzati (fig. 7). Le connessioni tra i vari



Figura 6
Particolare dei dipinti sulle travi, con la raffigurazione del pavone, simbolo della famiglia committente



Figura 8
Vista dal basso del solaio (particolare); si notano gli angoli non retti

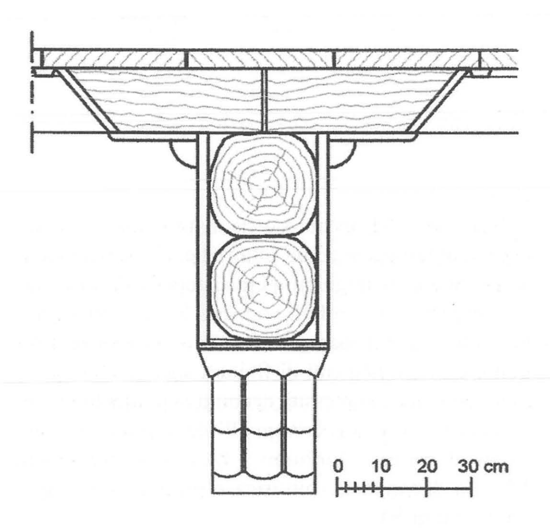


Figura 7
Sezione di una trave

elementi sono realizzate da chiodature, con chiodi a sezione quadrata, di forma piramidale molto allungata (talora superiore ad 1 m).

È interessante osservare la disposizione dell'orditura principale e secondaria, rispettivamente parallele alle murature d'ambito, che non sono ortogonali tra loro; la forma irregolare dell'ambiente ha determinato tutti gli incroci fuori squadro, ma le riquadrature dissimulano l'irregolarità (fig. 8).

Una particolare anomalia si osserva anche nella disposizione delle travi principali, poste ad interassi diversi, dovuti evidentemente alla presenza di bucature sottostanti nelle murature d'ambito (cfr. pianta, Fig. 3). Tale disposizione ha determinato il collasso di una delle due travi, che risultava evidentemente più sollecitata già in fase di realizzazione, poi successivamente sovraccaricata a causa di interventi successivi, tra cui la costruzione di tramezzi divisori nel locale sovrastante.[11]

Tutte le parti strutturali del solaio, ovvero le travi principali e travicelli di orditura secondaria, sono in legno di castagno; altrettanto dicasi per le finiture (pannelli verticali copri-travi, bussole, ovvero quegli elementi inclinati posti a chiudere il vuoto tra le travi principali e le secondarie, listelli tondi, listelli piatti o regoli), mentre solo alcuni elementi (pannelli orizzontali copri-travi) sono in pioppo.

La situazione conservativa prima dell'intervento

Lo stato di conservazione dell'opera, prima dei lavori di restauro, appariva di estrema gravità sia per motivi statico-strutturali, sia a causa dei numerosi interventi inadeguati, tra cui la suddivisione della sala originaria in cinque diversi ambienti —mediante la costruzione di tramezzi divisori— e la generale imbiancatura del soffitto, che nascondeva del tutto i dipinti.

Il quadro fessurativo antecedente i lavori mostrava una rilevante deformazione di tutto il solaio, partico-

larmente evidente nella zona relativa alla trave maggiormente sollecitata, varie lesioni sulle travi principali e lesioni longitudinali su alcuni travicelli.

Nei secoli passati si era tentato di correggere le rilevanti inflessioni del solaio e del pavimento sovrastante con alcuni accorgimenti inopportuni: all'estradosso si era colmata la zona di pavimento inflesso con materiale di riempimento (calcinacci), realizzando una nuova pavimentazione su massetto; all'intradosso, dopo aver staccato i pannelli dipinti dalle travi a cui erano inchiodati, si sono osservate varie rinzeppature —fra i travicelli e la vecchia trave inflessa— che rivelavano il tentativo di rialzare la quota dei travetti ed evitare che questi si abbassassero seguendo l'inflessione della trave sottostante. Queste operazioni, mirate solo a rimediare gli effetti del dissesto, di fatto hanno ulteriormente sovraccaricato le vecchie travi fino al collasso di una delle due, la quale, prima dell'intervento di restauro e consolidamento, si presentava appoggiata su un tramezzo sottostante (spessore 12 cm) costruito, all'interno della sala originaria, appositamente per sostenerla. La situazione quindi, dal punto di vista statico, si presentava gravemente compromessa, anche perché il tramezzo su cui appoggiava la trave rotta non aveva un corrispondente sostegno al piano inferiore, ma era posto «in falso» su una volta a crociera.

Dal punto di vista della conservazione dei dipinti, i pannelli lignei che rivestono le travi principali, su cui è concentrata la parte più pregevole della decorazione pittorica, risultavano danneggiati non solo per essere stati staccati e rinchiodati più volte alle travi portanti, ma anche dall'aver risentito di tutte le deformazioni delle travi lignee alle quali erano inchiodati, per cui si presentavano fessurati e spaccati in modo particolarmente grave sulla trave rotta. Oltre a ciò, tutto il soffitto ha subito, nei secoli passati, diverse operazioni di stuccatura e di completa imbiancatura; già verso la metà del XX secolo lo strato di tinteggiatura era stato in parte asportato, rivelando l'esistenza dei dipinti, ma tale rimozione, effettuata con strumenti impropri, aveva danneggiato in molti punti la pellicola pittorica stessa (fig. 9).

L'attacco biologico, che in passato doveva essere stato consistente ma allo stato attuale era molto ridotto a causa dei ripetuti interventi di imbiancatura, appariva più grave sulle parti in pioppo (decisamente limitate rispetto al totale, e comunque senza funzioni strutturali) che non su quelle in castagno; nel complesso, quindi, esso non costituiva tanto un rischio per le strutture, quanto per la conservazione delle superfici dipinte.

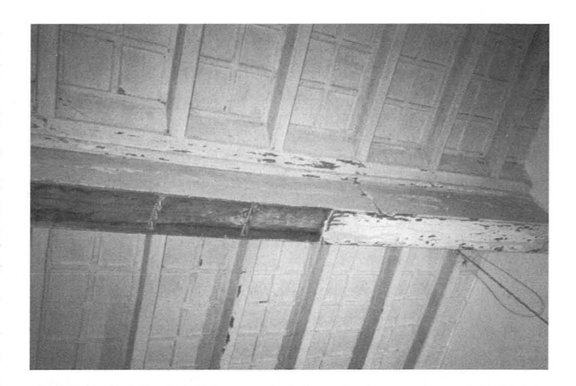


Figura 9
Foto del solaio prima dei lavori: rimozione parziale della fodera per ispezionare la trave

Il restauro statico

L'intervento sulle strutture è apparso subito urgente e indifferibile; dal punto di vista metodologico le possibili scelte, ciascuna attentamente valutata, potevano essere le seguenti:

- recupero delle travi originarie con inserimento di materiale diverso (es. resine, barre, etc.), allo scopo di conservare il più possibile la materia originaria dell'opera; tale scelta si è rivelata impossibile per il grave stato di degrado delle travi, che si presentavano anche gravemente sottodimensionate;
- rinforzo e conservazione integrale della struttura, con intervento di consolidamento «a vista», ma necessità di introdurre elementi di supporto (es. centinature metalliche o travi reticolari affiancate a quelle originarie) estranei alla figuratività dell'opera;
- sostituzione delle travi riutilizzando lo spazio all'interno delle fodere esistenti, in modo tale da non alterare l'immagine dell'opera e lasciare invariato lo schema statico.

Il restauro ha perseguito quest'ultima soluzione, che ha comportato la sostituzione delle travi amma-

lorate con travi di acciaio poste all'interno della fodera lignea di rivestimento. Tale scelta, che ha privilegiato il valore estetico-figurativo dell'opera, si è resa inevitabile in quanto le travi originarie (di cui una rotta) si trovavano in uno stato di degrado tale da non poter essere recuperate e consolidate. Proprio le ridotte dimensioni, imposte dalla presenza del pregevole cassettonato di rivestimento, ha determinato la scelta dei profilati metallici (tipo HE). Questi ultimi infatti, essendo più piccoli dello spazio racchiuso dai pannelli dipinti (45 × 25 cm circa), possono inflettersi senza arrecare danno ai pannelli dipinti. La dimensione inferiore delle nuove travi, inoltre, ha consentito di consolidare l'appoggio sui muri mediante un cordolo, incassato nel muro, posto a quota più alta rispetto alle mensole lignee su poggiavano le travi; in questo modo anche le mensole, che presentavano lesioni e vistose deformazioni, sono state scaricate dalla funzione statica (figs. 10–11).



Figura 10
Particolare di una mensola, dopo il restauro

La sostituzione delle travi portanti è stata effettuata dopo aver puntellato tutti i travicelli in prossimità delle travi, avendo cura di non danneggiare alcuna parte del solaio. Sono stati, inoltre, rimossi sia la pavimentazione sovrastante sia tutto il materiale di riempimento che, nei secoli, era stato accumulato sopra il vecchio solaio per «correggerne» l'inflessione, alleggerendo notevolmente la struttura; per scaricare il solaio ligneo da ulteriori pesi, è stato realizzato un nuovo impalcato sovrastante, con una struttura leggera di metallo e legno, staccato dal solaio (circa 20 cm) e completamente indipendente da esso. Allo scopo di favorire la traspirazione del legno e di impedire l'eventuale formazione di condensa, si è evitato di introdurre un massetto cementizio; la nuova pavimentazione degli ambienti sovrastanti, in legno, è stata applicata direttamente sul nuovo tavolato.



Figura 11
Particolare di una trave, dopo il restauro

Il restauro pittorico

Il restauro dei dipinti, successivo all'intervento strutturale sul solaio,[12] è avvenuto tramite diverse operazioni, che hanno riguardato sia il consolidamento ed il risanamento dei supporti lignei, sia la pulitura e la conservazione delle superfici pittoriche, realizzate con la tecnica della tempera. Più in dettaglio, i lavori eseguiti hanno riguardato le seguenti fasi esecutive:

- smontaggio dei pannelli copri-trave; tale operazione, rigorosamente limitata alle sole parti indispensabili per la sostituzione delle travi, è stata effettuata previa mappatura e numerazione dei pezzi costitutivi, nonché individuazione della chiodatura con l'ausilio di un rivelatore di metalli.
- disinfestazione del supporto ligneo, effettuata da entrambi i lati sulle parti smontate e su tutte le parti rimaste «in situ» (travetti, bussole e regoli, tavolato); in particolare il tavolato è stato trattato anche all'estradosso, in occasione della rimozione della pavimentazione e del materiale di riempimento sovrastante.

- consolidamento del supporto ligneo, eseguito per impregnazione di una soluzione di resina acrilica, applicata a pennello o localmente per iniezione, nelle zone particolarmente degradate da attacchi xilofagi.
- risanamento dei pannelli, effettuato su due elementi gravemente compromessi (corrispondenti al punto in cui la trave aveva ceduto, che presentavano perciò gravi fenditure con perdita di materiale); esso è stato realizzato mediante innesti a «v» sulle spaccature, con legno stagionato della stessa essenza (castagno).
- rimozione dei diversi strati di vernice sovrapposta di varia natura, eseguita meccanicamente a bisturi. L'operazione ha interessato sia i pannelli copri-travi smontati, sia le rimanenti parti del solaio, che era stato completamente ricoperto da diversi strati di imbiancatura (fig. 12).

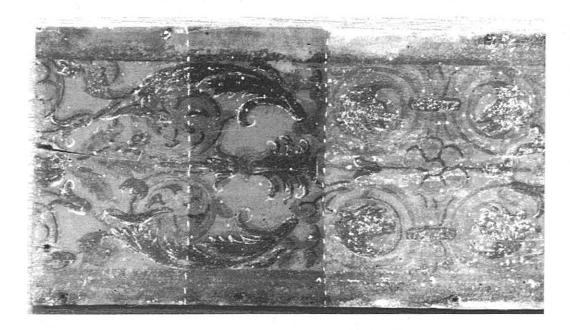


Figura 12
Particolare di un pannello copri-trave, durante la rimozione della vernice bianca: prova di pulitura

- pulitura delle superfici dipinte, previo fissaggio della pellicola pittorica ove necessario, effettuata mediante rimozione delle sedimentazioni di polvere e di sporco di varia natura, eseguita con mezzi idonei e con l'ausilio di miscele solventi.
- reintegrazione pittorica delle lacune, al fine di ridurre il disturbo visivo e di facilitare la lettura dell'immagine; tali reintegrazioni sono state eseguite, con garanzia della reversibilità, nelle zone lacunose e con scompensi cromatici, con colori ad acquerello applicati a velatura.
- trattamento finale di protezione della superficie dipinta con resine acriliche in soluzione, applicate per nebulizzazione.

I pannelli dipinti che rivestivano le travi lignee, dopo le operazioni di consolidamento e restauro descritte, sono stati rimontati in opera applicandoli ad una griglia di supporto che riveste le nuove travi metalliche. Durante le operazioni di rimontaggio si è evitato di eseguire sui pannelli dipinti nuovi fori per chiodature, utilizzando i fori già presenti e stuccando, con garanzia di distinguibililità e di reversibilità, tutti i segni delle vecchie chiodature (fig. 13).



Figura 13
Particolare del solaio ligneo, dopo i lavori

Per quanto riguarda le reintegrazioni pittoriche, allo scopo di conservare il più possibile l'autenticità del manufatto, si è scelto di risarcire solo le lacune che creavano maggiore disturbo, cioè quelle relative alle superfici «di fondo»; in particolare i quadretti monocromi stellati, per la quasi totale perdita della pellicola pittorica e la mancanza generale delle stelline, presentavano condizioni particolarmente critiche, tali da compromettere la leggibilità di tutte le rimanenti parti dipinte del soffitto.

La reintegrazione cromatica dei quadretti monocromi con le stelline dorate (riprodotte, in materiale differente, sulla base di un esemplare conservato), ha permesso di recuperare la leggibilità dell'opera senza operare ulteriori reintegrazioni sulle parti figurative; le lacune relative a queste ultime, infatti, non hanno subito reintegrazioni pittoriche ma solo abbassamenti

di tono, lasciando visibile la superficie lignea lì dove il colore era perduto, senza che tali mancanze (visibili solo ad un'osservazione ravvicinata) possano disturbare la visione complessiva dei dipinti alla normale distanza di osservazione.

I criteri guida del «minimo intervento» e del «rispetto dell'autenticità» materiale ed espressiva hanno determinato tali scelte, suggerendo di evitare ulteriori reintegrazioni lì dove non fosse strettamente necessario. In particolare, nella riparazione dell'elemento ligneo più danneggiato (cioè il pannello spaccato in seguito alla rottura della trave) si è preferito lasciare visibili i segni del dissesto ed intervenire con la sola reintegrazione lignea (su cui è posta la data all'interno), rinunciando a completare la restituzione pittorica che, in questo caso, si limita a riproporre il solo contorno della figura al tratto (fig. 14).



Figura 14
Particolare del pannello lesionato, dopo il risanamento

NOTE

1. De Cesaris 1996, 122–123.
2. Milizia (1853, 491) definisce il primo tipo di solaio «alla sansovina» per la sua larga diffusione in Veneto e lo preferisce a quello del secondo tipo, molto usato a Roma.
3. Antinori, A. L. [ms sec. XVIII] *Annali*, 201.
4. Circa l'attribuzione a Silvestro Aquilano (autore del disegno iniziale per la facciata di S. Bernardino, della facciata di S. Maria del Soccorso e del monumento Agnifili nella Cattedrale aquilana) vedasi: Chini 1954, 378–386.
5. Dal rilievo e dalle successive analisi fatte è emersa una evidente discontinuità tra il piano seminterrato e i due superiori: si notano in particolare sui prospetti le aperture non allineate, mentre sovrapponendo le piante è possibile osservare la mancata corrispondenza di alcune murature. In particolare l'impianto quattrocentesco del cortile risulta impostato su strutture sottostanti piuttosto anomale, tanto da aver reso necessarie opere di adattamento (es. archi di sostegno aggiunti successivamente).
6. Atto 30 aprile 1642, notaio Gregorio Bassi (A.S.A. busta 823); Atto 16 ottobre 1702, notaio Perseo Capulli (A.S.A. busta 982).
7. L'abate dei Celestini di Collemaggio in tale occasione pose il suo stemma nel cortile (sopra il portale) e sulla facciata posteriore (lato est).
8. Chini 1948, 7–11.
9. Il sistema del doppio regolo è una particolarità del solaio aquilano: solitamente i regoli sono disposti solo in senso ortogonale ai travicelli e la loro distanza è data dalla larghezza delle tavole; in questo caso, poiché la distanza tra i travicelli è aumentata, c'è la necessità di suddividere ulteriormente lo spazio residuo tra l'orditura secondaria con l'introduzione di un regolo parallelo ai travicelli, a formare delle riquadrature.
10. Bartolomucci 2000, 13–16.
11. Le superfici d'influenza del carico sovrastante sono rispettivamente: mq 21 sulla trave meno sollecitata, mq 29 sull'altra; il peso, quindi, è ripartito sulle travi con un rapporto di 2:3.
12. Il consolidamento statico è stato eseguito nel 1997 (calcoli strutturali ing. Maurizio Lucci); il restauro conservativo del solaio e dei dipinti è avvenuto tra il 1998 ed il 2003 (restauratore Diego Caldarelli).

LISTA DI REFERENZE

Barbisan, U. e F. Laner [1995]. *Solai in legno: soluzioni tradizionali, elementi innovativi, esempi di dimensionamento*. Milano: Franco Angeli.

Bartolomucci, C. 1999. *Il palazzo Carli a L'Aquila: Problemi di restauro e consolidamento*. Tesi di diploma. Scuola di Specializzazione in Restauro dei Monumenti, Università degli Studi di Roma «La Sapienza».

Bartolomucci, C. 2000. «Palazzo Carli a L'Aquila». In *Il Giornale degli Architetti* 1/2000: 13–16.

Bonamini G. et a., 2001. *Il manuale del legno strutturale: ispezione e diagnosi in opera*. Roma: Mancosu.

Bonamini G. *et al.* 2004. *Il manuale del legno strutturale: interventi sulle strutture*. Roma: Mancosu.

Bostrom, L. (edited by). 1999. *1° International RILEM symposium on Timber Engineering*: Stockholm, Sweden (13–14 September 1999). Cachan: RILEM publications.

Catalano, A., V. Gambardella e M. Cristiano. 2005. «Una tecnica edilizia tradizionale napoletana: i solai in legno. Modalità costruttive e recupero». In *Conservation of historic wooden structures: proceedings of the international conference*, 131–134. Florence 22–27 February, 2005.

Chini, M. 1948. «Il palazzo dei Carli Cadicchi in Aquila restaurato». In *Rivista Abruzzese* 3–4/1948: 7–11.

Chini, M. 1954. *Silvestro Aquilano e l'arte in Aquila nella seconda metà del secolo XV*. L'Aquila: La Bodoniana.

De Cesaris, F. 1996. «Gli elementi costruttivi tradizionali: i solai lignei». In Carbonara G. (a cura di). *Trattato di restauro architettonico*.Torino: Utet, tomo 2°, 122–139.

De Cesaris, F. 2004a. «Solai». In Carbonara, G. (a cura di). *Atlante del restauro*. Torino: Utet, tomo 1°, 240–252.

De Cesaris, F. 2004b. «Interventi su solai e coperture». In Carbonara, G. (a cura di). *Atlante del restauro*. Torino: Utet, tomo 2°, 583–591.

Jurina, L. 2003. «Strutture in legno: soluzioni leggere per il consolidamento». In *Recupero e conservazione* 50: 65–68.

Jurina, L. 2004. «Consolidamento di solai storici: soluzioni miste legno-acciaio». In *Recupero e conservazione* 59, 56–63.

Laner, F. 1994. «Connettori a secco continui per il recupero dei solai in legno». In *Ananke* 7/1994: 102–111.

Laner, F. 1999. «Solai in legno: sicurezza, conservazione e normativa». In *Manutenzione e recupero nella città storica: conservazione e sicurezza*. Atti del III convegno nazionale, Roma 7–8 maggio 1999. Roma: Fratelli Palombi, 404–410.

Marconi, P. (a cura di). 1989. *Manuale del recupero del Comune di Roma*. Roma: Dei.

Milizia, F. [1781] 1853. *Principi di architettura civile*. Illustrati dal prof. arch. G. Antolini. 3° edizione milanese. Milano: Serafino Majocchi editore.

Munafò, P. 1990. *Recupero dei solai in legno*. Palermo: ed. Flaccovio.

Tampone, G. (a cura di). 1989. *Legno e restauro: ricerche e restauri su architetture e manufatti lignei*. Firenze: Messaggerie toscane.

Tampone, G. 1996. *Il restauro delle strutture di legno: il legname da costruzione, le strutture lignee e il loro studio, restauro, tecniche di esecuzione del restauro*. Milano: U. Hoepli.

Tampone, G. *et al.* 2002. *Strutture di legno: cultura conservazione restauro*. Milano: De Lettera.

Tampone, G. (a cura di). 2005. *Conservation of historic wooden structures: Proceedings of the International Conference*. Florence 22–27 February, 2005. Firenze: Collegio degli Ingegneri della Toscana, 2 vol.

Analisis estructural del cimorro de la catedral de Ávila

María Ángeles Benito

La catedral de Ávila será la última de las cuatro catedrales románicas de la Extremadura castellana: la salmantina, la de Ciudad Rodrigo y la desaparecida de Segovia. La rudeza del tiempo y la peculiar orografía urbana de la ciudad amurallada, obligó a levantar una catedral-fortaleza, un verdadero bastión militar. La relación entre la muralla y la catedral se hace especialmente patente en la parte de la cabecera que se denomina cimorro, se convierte en el cubo mayor del recinto amurallado (Martín, 2004).

Iniciado de acuerdo con unas pautas románicas, el templo será una de las primeras fábricas góticas, existiendo un ajuste de una estructura gótica sobre una planta románica. En el último cuarto del siglo XII encontramos, trazada por Fruchel, una cabecera con múltiples capillas absidiales que se abrían a la girola.

Esta comunicación aborda el estudio de la bóveda sexpartita perteneciente al presbiterio en la cabecera de la Catedral de Ávila. El trabajo se apoya en la planimetría existente[1] y en un levantamiento[2] riguroso realizado en la zona de la cabecera, investigando sobre lo que pudo ser su traza original y el proceso constructivo llevado a cabo, para realizar un análisis estructural del equilibrio y sistema de contrarresto en una sección transversal por su cabecera. Por otro lado, este trabajo se enmarca dentro de una tesis doctoral sobre la evolución constructiva y análisis estructural de la Catedral de Ávila.

FORTIOR ABULENSIS, EL TEMPLO FORTALEZA

Funcionalmente la catedral abulense es un poderoso ejemplo de templo-fortaleza, pudiéndose calificar como fortitor abulensis, añadiendo este calificativo al dístico latino *Sancta Ovetensis, Fortis Salmantina, Dives Toletana, Pulcra Leonina.*

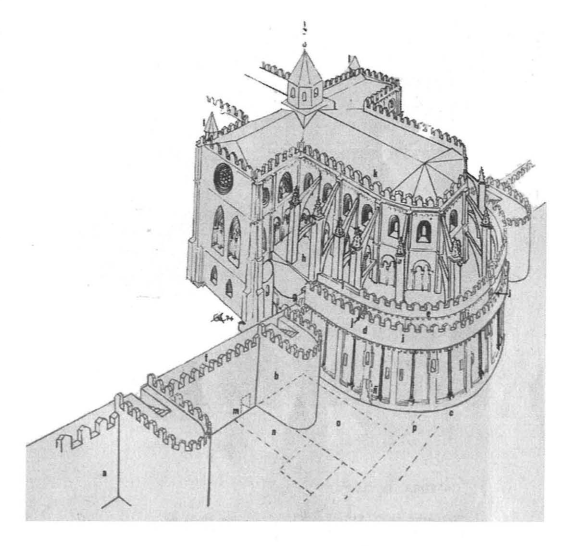


Figura 1
Reconstrucción ideal del proyecto de Fruchel. (Rodríguez Almeida 1975)

Los siguientes dibujos muestran la sucesiva modificación de la cabecera[3] (fig. 1). Durante el último cuarto del siglo XII, trazada por Fruchel, nos encontramos una cabecera con múltiples capillas absidiales que se abrían a la girola. Esta cabecera era prácticamente una fortificación con pequeñas saeteras, sobre las cuales se colocaba el triforio que sería posteriormente desmontando en el siglo XVI.

Fue completada con un forro de sillería sobre el que correría el adarve de la muralla, colocado a mediados del siglo XIII (fig. 2). Durante la segunda mitad del siglo XV se reforzaría esta cabecera dotándola de un triple almenado, con un adarve y volado cuerpo de matacanes al cual se le añade una galería militar en su interior. Apreciamos en la figura 2, la supresión del triforio que suponemos erróneo ya que, según documentación catedralicia, esta supresión corresponde a las reformas realizadas en el siglo XVI (Gutiérrez y Navascués 2004).

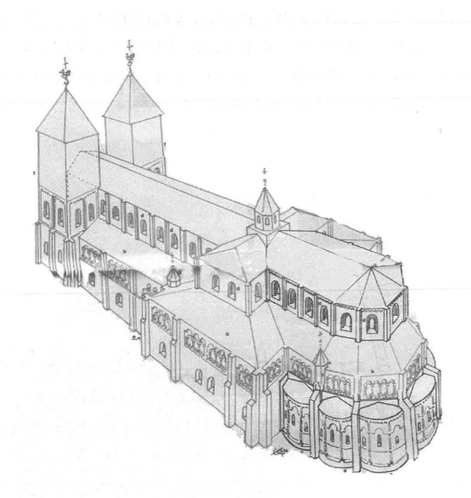


Figura 2
Reconstrucción de la fortificación de la Catedral de Ávila. (Rodríguez Almeida 1975)

Fue en el siglo XVI cuando se desmontó la tribuna existente sobre el deambulatorio para permitir una mejor iluminación de la capilla mayor, siendo preciso reforzar exteriormente la cabecera con nuevos arbotantes en 1520.

HIPÓTESIS SOBRE SU GEOMETRÍA Y PROCESO CONSTRUCTIVO

Hipótesis sobre la planta

La parte más antigua puede fecharse entre 1160 y 1180 y atribuirse al maestro Fruchel. Este proyecto sería una iglesia de tres naves con cuatro tramos, triple crucero y girola sencilla con siete capillas hornacinas. Finalmente el construido pierde en el crucero la nave oriental en beneficio de una mayor profundidad para el altar mayor y el coro, y una girola que alcanza mayor desarrollo y duplica sus naves (fig. 3).

La doble girola actual de la catedral suponemos que no estaba propuesta en el proyecto de Fruchel (Merino 1994). Existe la posibilidad de recurrir a este sistema de doble nave, al encontrarse los constructores con problemas para cubrir unos tramos de gran anchura. La defensa de esta hipótesis se apoya en que se diera alguna de las dos circunstancias siguientes o ambas. En primer lugar si se pretendió disponer una tribuna sobre la nave de la girola, la crujía simple forzaba a un rampante de la bóveda excesivamente alto, que dificultaba tal disposición y por lo tanto era preciso rebajar. En segundo lugar si consideramos que el presbiterio está abierto al girola (cegado más tarde) exigía la colocación de unos soportes de apeo de la fábrica superior de gran ligereza,

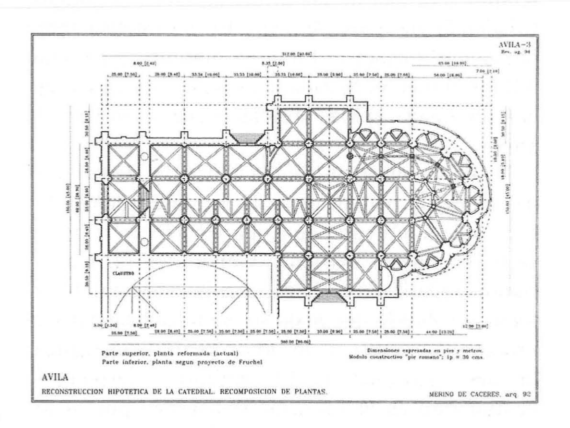


Figura 3
Comparación de plantas según el hipotético proyecto de Fruchel y la actual. (Merino 1994)

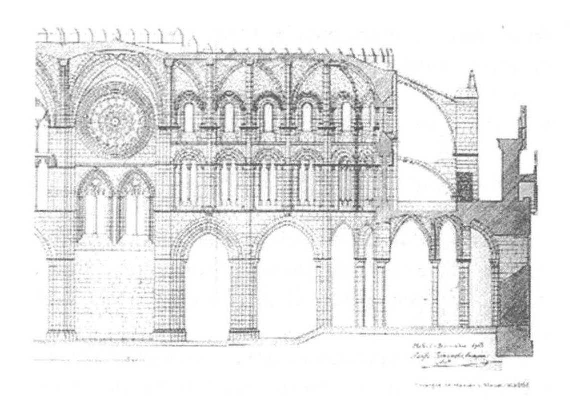


Figura 4
Sección longitudinal por el presbiterio. Dibujo realizado por Anselmo Arenillas Álvarez 1941. A.C.M.E.C.

para conseguir la mayor diafanidad posible, como las columnas monolíticas que nos encontramos.

La bóveda sexpartita que aparece sobre el altar mayor y que va a ser el punto principal de estudio en esta comunicación, tiene que ponerse en relación con la citada y desaparecida tribuna sobre el deambulatorio. Esta bóveda vino a cubrir una nave pensada para cerrarse con bóveda de cañón que fuese continuación del arco toral de medio punto que hoy podemos contemplar. Para realizar este cambio fue preciso alargar las medias columnas entregas que corresponden a los arcos fajones, así como las columnas intermedias (fig. 4). La bóveda se sentó mal sobre los apoyos de la catedral románica porque sus arcos fajones no coinciden con los pilares que tienen continuidad hasta el suelo sino que apoyan sobre la clave de los arcos más bajos. En el estudio de esta transmisión de esfuerzos vamos a central el análisis.

Hipótesis sobre el proceso constructivo

Para la buena ejecución de la obra tenemos que tener en cuenta el proceso de corte y montaje de la piedra, los problemas estáticos durante los diversos momentos de la construcción y la adecuada organización del progreso de la obra.

Lo primero es ejecutar a tamaño natural la traza de la bóveda para tomar los datos necesarios. Para esto se necesita la planta, la proyección horizontal de los nervios y las elevaciones de cada uno de estos nervios. Son los patrones o directrices de cada nervio. Generalmente este grafiado de la montea se realizaba sobre un entarimado de madera levantado a la altura adecuada no en el arranque, sino donde acaba el jarjamento, para marcar en él la posición de las claves y arcos. Con las cotas convenientes se colocarían en su lugar los elementos, primero las claves que apoyan sus torteras sobre pequeñas zapatas que coronan los pies derechos, y luego los nervios. Este proceso está perfectamente explicado por Rodrigo Gil de Hontañón y recogido en el Compendio de Arquitectura y Simetría de Simón García.

La construcción de una bóveda de crucería requiere la determinación gráfica de los encuentros, es condición inicial la verticalidad de los miembros y que los nervios sean arcos de circunferencia. Se precisa de la cercha para cada nervio, la labra de las piedras y la planta general y las elevaciones de cada nervio para labrar los enjarjamentos y las claves.

Podemos resumir el proceso en los siguientes pasos: 1. Sobre los riñones de la bóveda, un poco por encima del nivel de los arranques, se construye una plataforma. 2. Se dibuja sobre ella la traza completa de los nervios, la montea. 3.Se colocan sobre esta plataforma las cimbras para los nervios y los pies derechos para las claves. 4. Se construyen los nervios. 5. Se construye la plementería entre los nervios.

Hipótesis sobre el andamiaje y los medios auxiliares

Conocemos varias hipótesis para la construcción de bóvedas góticas en relación con sus andamiajes o medios auxiliares. Choisy dibuja en su Histoire de l'Arquitecture una solución con un tablero continuo para el apoyo de la plementería. Fitchen supone que estaría formado por una sucesión de cerchas fijas con largueros arqueados y tirantes, apoyadas no en los nervios sino en las cimbras que sostienen los nervios. Por tanto este andamiaje completo habría de permanecer hasta que hubiera fraguado el mortero. Viollet le Duc propone que una plementería ligera de 10 ó 15 cm se podría ejecutar sólo con el auxilio de cerchas incluso móviles o desplazables como una plantilla. Se trata de dos tablas curvadas que se deslizan una sobre la otra para cambiar la longitud total (Rabasa 2000).

Sobre los andamiajes se sabe muy poco, pero los supuestos que acabamos de comentar sobre el cimbraje de la plementería, no se contradicen con lo que Rodrigo Gil de Hontañón nos ha hecho llegar a través del manuscrito de Simón García (Huerta 2004).

DESCRIPCIÓN Y MODELIZACIÓN DE LA GEOMETRÍA

Descripción del presbiterio

Este presbiterio consta de cuatro tramos rectangulares y un ábside semicircular (fig. 5).

En un principio se pensaría disponer sobre los cuatro tramos dos bóvedas sexpartitas, como se muestra en modelo B. Pero el diseño del ábside cambió, para dibujar una nervadura convergente en el centro del semicírculo, disposición radial de los nervios que requería el contrarresto de dos a modo de nervios ojivos que hubieron de ser situados en el primer tramo rectangular contiguo. Es necesario contrarrestar el empuje de la cabecera que nos muestra en el modelo B. La solución construida, modelo A, soluciona este problema retrasando la bóveda sexpartita un tramo. Siendo así imposible la construcción de dos bóvedas sexpartitas, se realiza una sexpartita y otra cuatripartita. El modelo C nos presenta un esquema erróneo, frecuentemente copiado en muchas ilustraciones desde finales del siglo XIX, en este esquema se presenta una solución simétrica pero que no contrarresta el empuje del punto central del último tramo.

Las bóvedas sexpartitas cargan alternadamente sobre los pilares un nervio o tres, produciendo cargas diferentes en los apoyos (fig. 6).

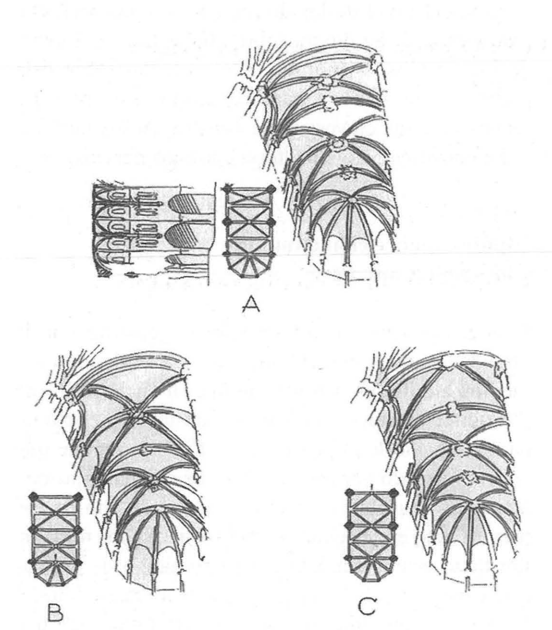


Figura 5
Nervadura del presbiterio de la Catedral de Ávila. A Distribución real. B. Esquema original. C. Esquema erróneamente copiado en ilustraciones a partir del siglo XIX. (Rabasa 2000)

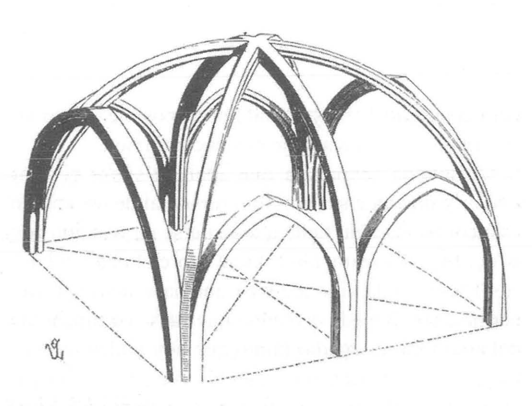


Figura 6
Arcos de la bóveda sexpartita, según Viollet-le-Duc (*Dictionnaire raisonnée de l'Architecture Francaise du XI au XVI siécle, 1868*)

En la cabecera de la catedral de Ávila se muestra una anomalía en la distribución de la carga de la bóveda sexpartita. Los mayores esfuerzos descansan en ménsulas emplazadas sobre las claves de los arcos que las separan de la nave lateral, mientras que los pilares que sólo reciben el perpiaño intermedio llegan hasta el suelo, como puede observarse en la figura 4. Por este motivo la sección elegida para este estudio es la correspondiente al arco perpiaño intermedio. Siendo consciente de que el arbotante correspondiente a esta sección no es el más penalizado. En la planta se indica la sección a analizar (fig. 7).

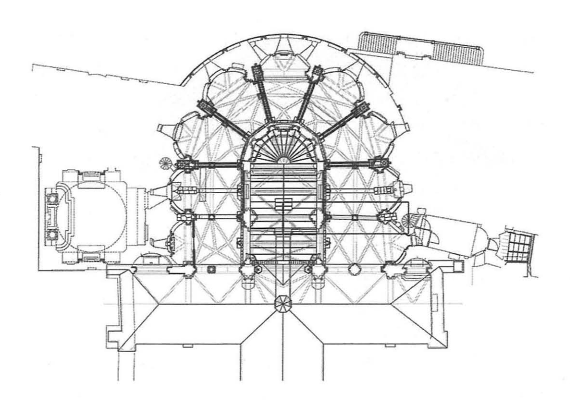


Figura 7
Planta de la cabecera con los arbotantes, señalando la zona de estudio.

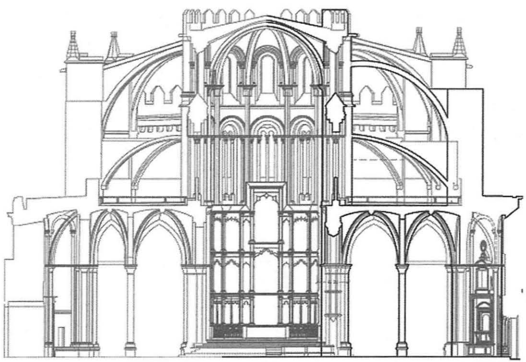


Figura 8
Sección transversal por la girola. Dibujo de elaboración propia a partir del levantamiento citado[2]

Modelización de la geometría

Esta sección muestra la geometría completa de la zona a estudiar (fig. 8). Como puede observarse no existe una simetría perfecta. Se ha elegido para este estudio la zona derecha, marcada en el dibujo.

Vamos a desarrollar la geometría de la bóveda sexpartita de la nave central y las dos bóvedas de crucería de las naves laterales.

Nave central: bóveda sexpartita

Para realizar el análisis estructural de la sección transversal por la girola, partimos desde la bóveda sexpartita. Calcularemos la carga transmitida a los pilares torales PT I y PT D. Para ello vamos a modelizar la geometría de los arcos que forman la bóveda sexpartita (fig. 9).

Como se muestra en la fotografía, distinguimos los siguientes elementos:

- AS: Arco sexpartito o perpiaño intermedio que descarga en los pilares que llegan al suelo
- AP1, AP2: Arcos perpiaños paralelos al arco sexpartito
- AC1, AC2: Arco cruceros
- AF1D,AF1I, AF2D, AF2I: Arcos Formeros
- PTI: Pilar principal izquierdo
- PTD: Pilar principal derecho

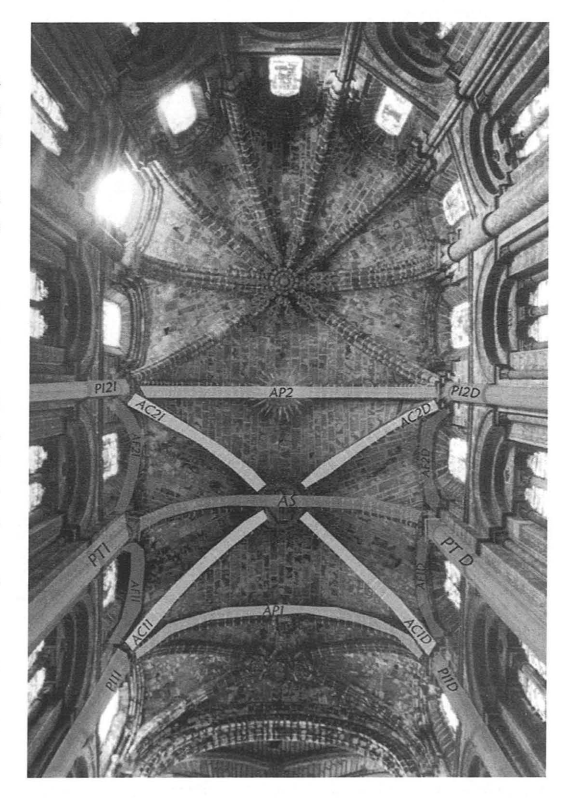


Figura 9
Bóvedas del presbiterio, señalándose los arcos y pilares para analizar la distribución de cargas

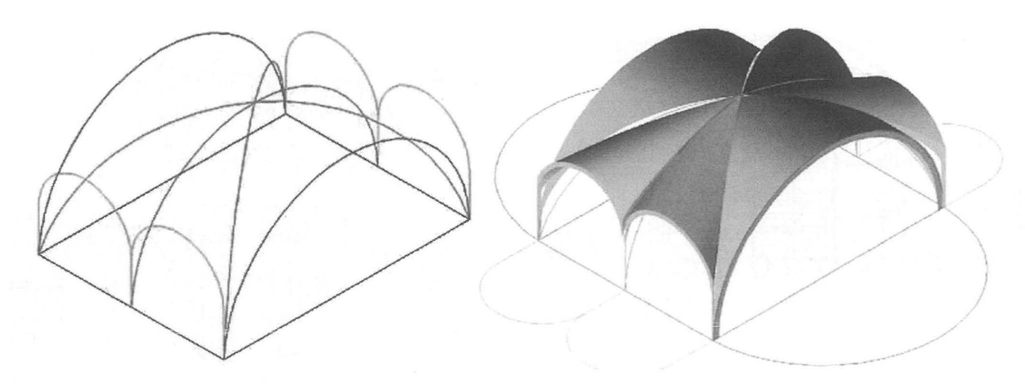


Figura 10
Modelización de la bóveda sexpartita con la plementería y los arcos abatidos

- PL1I, PL2I, PL1D, PL2D: Pilares sobre los que descargan los arcos perpiaños, cruceros y formeros.

Hay que notar que las cargas trasmitidas por los arcos perpiaños, formeros y cruceros descansan sobre pilares que no llegan al suelo sino que transmiten la carga a un arco en la zona inferior que a su vez la trasmite a los pilares PTI y PTD, ver figura 4.

Podemos imaginar la bóveda sexpartita suponiendo los nervios como líneas y la plementería como la superficie reglada que cierra los espacios entre los nervios (fig. 10).

Con estos datos hemos sacado la geometría de los 4 tipos de arcos que forman la bóveda sexpartita (figs. 11, 12, 13 y 14)

Naves laterales: bóvedas cuatripartitas.

Las bóvedas laterales son cuatripartitas, consideramos los arcos cruceros, formeros y perpiaños, cuya geometría describimos a continuación (fig. 15). Hemos considerado las naves laterales correspondientes al tramo más cercano al crucero.

Acerca del marco teórico

Aplicamos la teoría del Análisis Límite de Estructuras de Fábrica (Herman 1999) Consideramos la estructura formada por un material rígido-unilateral que resiste compresiones pero no tracciones. Suponemos la fábrica como un conjunto de bloques in-

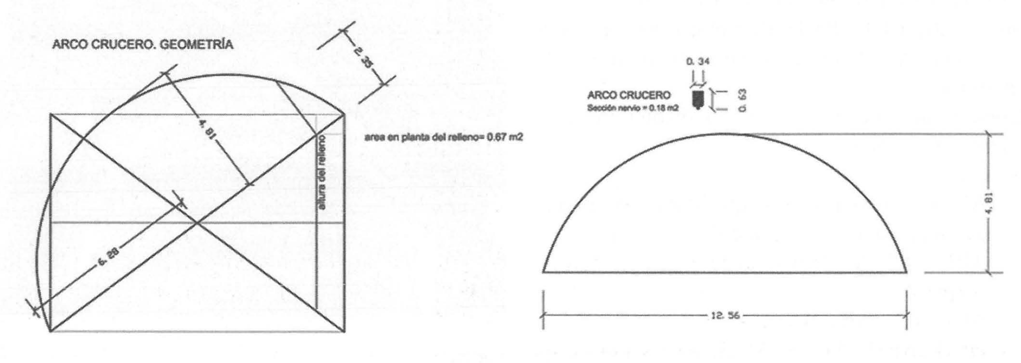
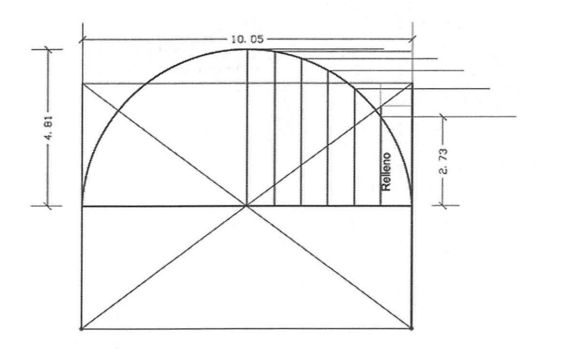


Figura 11
Arco crucero



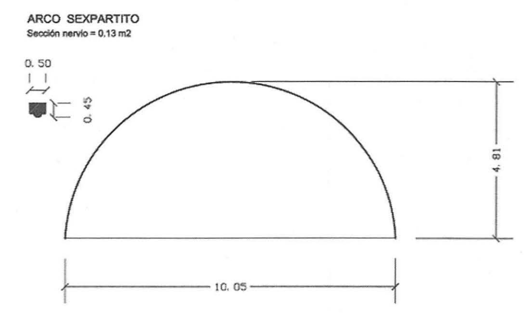
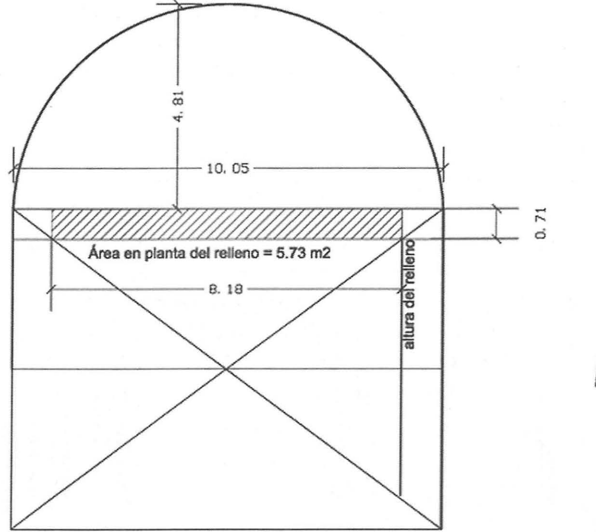


Figura 12
Arco sexpartito o perpiaño intermedio



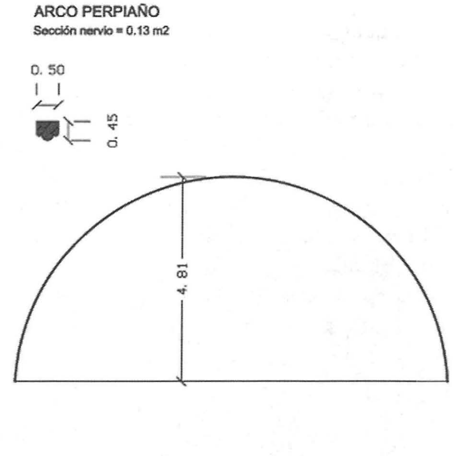


Figura 13
Arco perpiaño

deformables en contacto seco y directo que se sostienen por su propio peso. Suponemos tensiones bajas en el material por lo tanto evitamos el problema por fallo de resistencia, para ello nos basamos en los resultados de estudios de resistencia en fábricas reales que aún están en pie. El rozamiento entre las piedras es suficientemente alto para evitar el deslizamiento.

Aceptamos que el equilibrio de estas estructuras se consigue cuando las líneas de empuje de compresión convergen hacia las zonas centrales de la sección material de un arco, pilar, arbotante o contrafuerte,

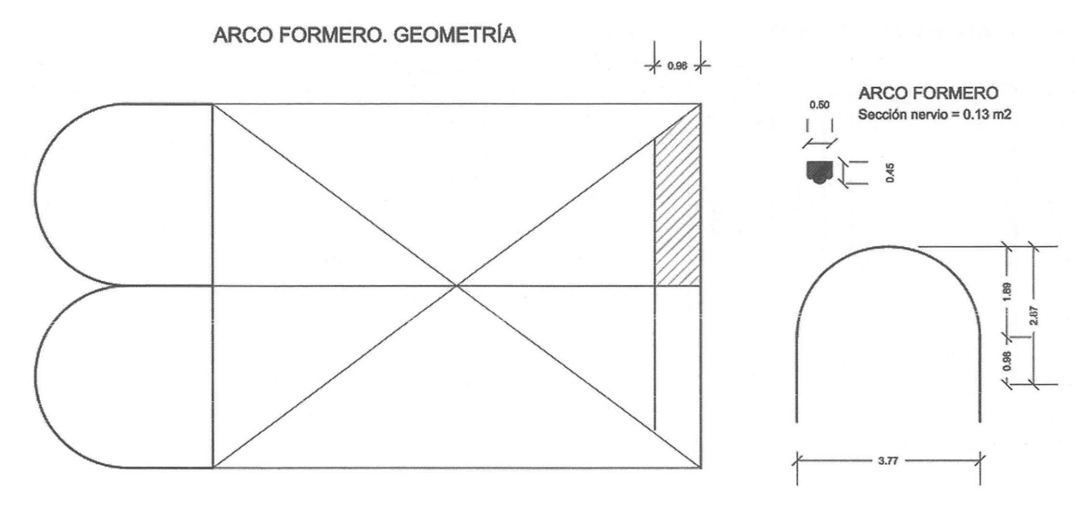


Figura 14
Arco formero

NAVES LATERALES. GEOMETRÍA

ARCO CRUCERO 1
Sección nervio = 0.10 m2

ARCO CRUCERO 2
Sección nervio = 0.10 m2

ARCO PERPIAÑO 1
ARCO PERPIAÑO 2
ARCO FORMERO 1
ARCO FORMERO 2
ARCO FORMERO 3
ARCO CRUCERO 1
ARCO CRUCERO 2

ARCO FORMERO 1
ARCO PERPIAÑO 1 Y 2
ARCO FORMERO 3
ARCO FORMERO 2
ALTURA DE LA CLAVE

ARCO PERPIAÑO 1
Sección nervio = 0.18 m2

ARCO PERPIAÑO 2
Sección nervio = 0.18 m2

ARCO FORMERO 1
Sección nervio = 0.50 m2

ARCO FORMERO 2
Sección nervio = 0.11 m2

ARCO FORMERO 3
Sección nervio = 0.41 m2

Figura 15
Geometría de las naves laterales

estando contenida dentro de la estructura. Si la estructura es hiperestática, como es lo habitual, es posible encontrar infinitas líneas de empujes que satisfagan las hipótesis anteriores y estén contenidas dentro de la sección. Corresponden a las infinitas soluciones posibles de equilibrio.

El proceso de colapso se produce cuando se forman un número suficiente de rótulas plásticas o articulaciones de agrietamientos en la fábrica, que convierten la estructura en un mecanismo cinemáticamente admisible. A cada configuración de rótulas o articulaciones corresponde una carga de colapso. Tendremos en cuenta: 1 Teorema de la unicidad: establece que la carga de colapso es única. 2 Teorema del límite superior: se ocupa de los estados de colapso y establece que para un cierto mecanismo de colapso la carga de colapso es superior o igual, en el caso de que se ha acertado con el mecanismo correcto, a la carga de colapso real. 3 Teorema del límite inferior: se ocupa de los estados de equilibrio, y establece que si para un cierto valor de carga es posible encontrar un estado de esfuerzos internos en equilibrio con las cargas que no viole la condición del material, esta carga es inferior a la carga de colapso. Aplicado a las fábricas: si es posible dibujar una línea de empujes contenida dentro de la estructura, la estructura no se hundirá.

Un estado de esfuerzos internos es «estáticamente admisible» cuando está en equilibrio con las cargas que actúan en la estructura; y es además «seguro» cuando en ninguna sección viola la condición de cedencia del material, en una estructura de fábrica aseguraremos que la línea de empujes está contenida dentro del material. Por lo tanto la línea de empujes puede ser libremente elegida y nos llevará a una posible solución de equilibrio. En todo momento estamos buscando una «posible solución de equilibrio» y no «la solución de equilibrio». Elegida una línea de empujes, podemos aplicar las condiciones de seguridad a cada una de las secciones que atraviesa. La seguridad está determinada, en cada sección, por la distancia relativa de la resultante (empuje) a los bordes. El coeficiente de seguridad es geométrico y definirá la posición que dicho empuje no debe sobrepasar dentro de cada sección.

Concluimos diciendo que el problema de la seguridad de las fábricas es un problema de estabilidad. Siendo tres los criterios fundamentales que debe cumplir una estructura: rigidez, resistencia y estabilidad. Es este último el determinante en el proyecto de las fábricas, las tensiones son bajas y las deformaciones pequeñas. El criterio de estabilidad conduce a una visión de las fábricas basada principalmente en la geometría, es la forma la que posibilita que las trayectorias de los esfuerzos estén siempre dentro de los límites de la fábrica.

ANÁLISIS DE LA BÓVEDA Y SISTEMA DE CONTRARRESTO

Para realizar el estudio de la sección transversal por la girola hemos seguido los siguientes pasos que desarrollamos a continuación:

1º Cálculo del empuje de la bóveda sexpartita, de forma precisa mediante el método de los cortes (Huerta 2004).
2º Cálculo del empuje de las naves laterales empleando las tablas de Ungewitter (Heyman 1999).
3º Análisis del equilibrio del arbotante, del pilar y del estribo.
4º Dibujo de la sección completa, señalando la línea de empujes y calculando su coeficiente de seguridad geométrico para el pilar y para el estribo.

Cálculo del empuje de la bóveda sexpartita

Hemos supuesto los arcos como líneas y la plementería como la superficie que cierra el espacio entre los arcos (ver figura 10).

Para el estudio de los arcos se han realizado los siguientes cálculos:

A) Cálculo del empuje de la plementería sobre cada uno de los arcos que descansan, a saber, sobre el arco sexpartito o perpiaño intermedio. Teniendo en cuenta únicamente el peso de la plementería.
B) Cálculo del empuje de todos los arcos: crucero, sexpartito, perpiaño y formeros, teniendo en cuenta el peso propio.

Sumamos los empujes correspondientes a la plementería y al peso propio en los arcos cruceros y perpiaño sexpartito o perpiaño intermedio

HIPÓTESIS:
ESTRIBO SUPERIOR FUERZA HORIZONTAL E2=37 KN, IGUALANDO EL EMPUJE DE LA NAVE CENTRAL
PARA QUE EXISTA UN EQUILIBRIO DE FUERZAS LA RESULTANTE VERTICAL ES DE 4808 Kn,
SEPARADA DEL PUNTO MEDIO DEL PILAR 11 CM
CON UNA FUERZA EN EL EXTRIBO INFERIOR HORIZONTAL DE E3 = 52 KN

CONSIDERANDO LOS EMPUJES E2 Y E3 EN LOS ARBOTANTES SUPERIOR E INFERIOR CALCULAMOS E6 Y E7
E6= componente horizontal = **37 Kn**
componente vertical = **37,4 Kn**
E7= componente horizontal = **51,7 Kn**
componente vertical = **24,1 Kn**

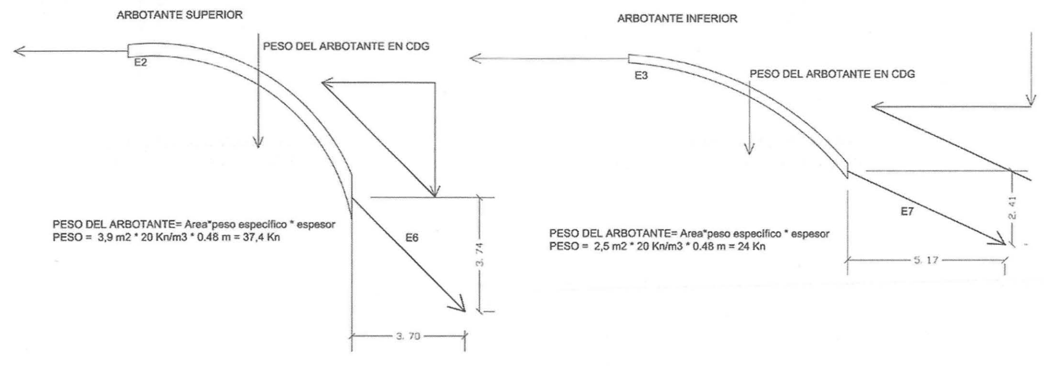


Figura 20
Cálculo gráfico de los empujes del arbotante

dentro del tercio central incluso está incluida en el quinto central del pilar.

En el estribo el resultado de las fuerzas nos da una componente vertical de 2.347 KN separada del centro del pilar 61 cm. Por lo tanto la tensión en la base del contrafuerte es de 0,29 N/ mm^2 con un área de 8 m^2 y que la resultante pasa exactamente dentro del tercio central

El iniciarse la planta para una catedral románica y variar el estilo a la hora de realizar sus bóvedas, lleva consigo problemas estructurales y geométricos. La doble girola hace necesario un pilar intermedio. Este pilar fue construido de forma monolítica y funciona estructuralmente bien en las capillas interiores pero presenta problemas de estabilidad en las capillas en contacto con el crucero.

Como hemos visto con detalle la bóveda sexpartita presenta un «mal asiento» en los pilares, transmitiendo la carga mayor a los pilares que no llegan hasta el suelo. De este modo se transmite la carga por medio el arco, en la sección longitudinal. El problema se presenta en el último arco ya que la componente horizontal del empuje está desequilibrada. Es posible que sea este el motivo de la necesidad de unos arcos «codales» que paliaban el efecto de este empuje.

La diferencia de los arbotantes correspondientes a los primeros tramos y los correspondientes a los tramos interiores de la girola quizás puedan hacer referencia a los distintos empujes. El caso que nosotros hemos analizado corresponde al segundo contrafuerte y hemos comprobado cómo aporta un empuje mayor el arbotante inferior que el superior. ¿Puede ser por este el motivo por el cual los primeros contrafuertes, correspondientes al primer tramo de la girola, sólo tienen arbotante inferior?

Este arbotante no es el más solicitado ya que el correspondiente al tercer contrafuerte deberá absorber la componente horizontal del empuje del nervio crucero y perpiaño de la bóveda sexpartita y que será tema de un estudio posterior.

Notas

1. La planta reproducida es propiedad del Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales del Ministerio de Cultura. Constituye el más completo y

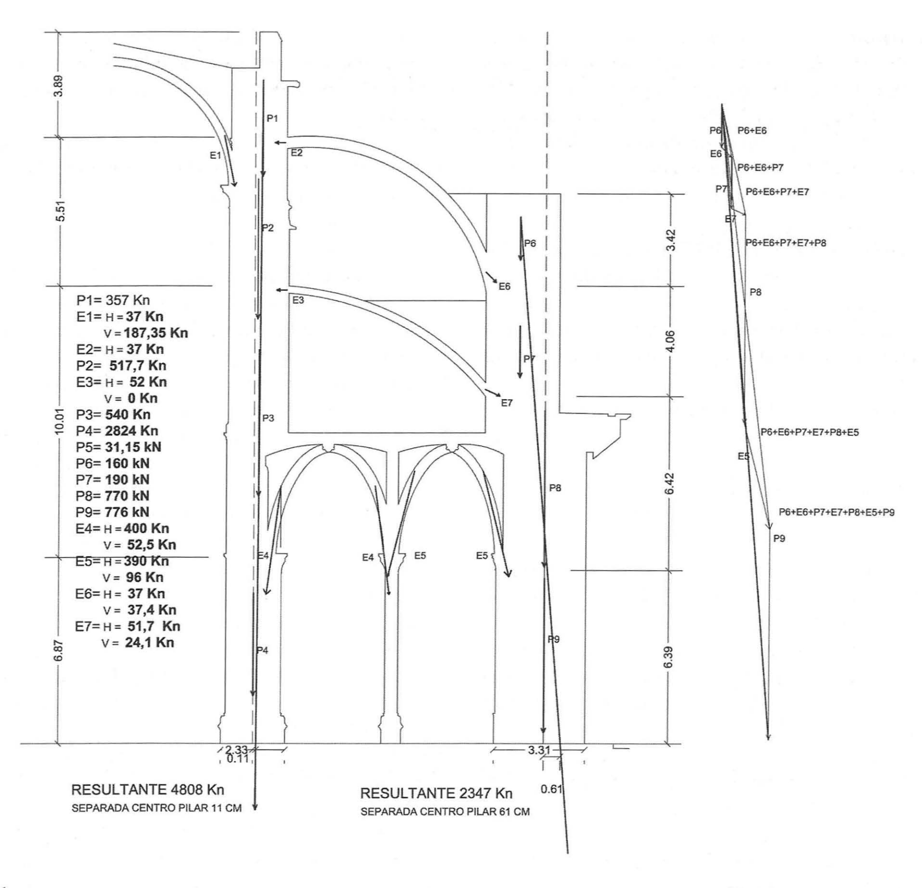


Figura 21
Análisis completo de la sección indicando todas las fuerzas que actúan.

detallado plano de cuantos se han realizado sobre esta catedral. El levantamiento y dibujo fue realizado en 1986 por el equipo de arquitectos formado por: Álvaro Caruana, Marina Álvarez, Mª Asunción Cámara, Adelaida Esteve, Luís Zoísmo Gª Alcaráz y José M. de Cascante, bajo la dirección de José Miguel Merino de Cáceres.

2. Levantamiento del Ábside de la Catedral de Ávila, trabajo realizado por Pedro Feduchi y José Coca, depositado en el Archivo de la Dirección General de Patrimonio y Bienes Culturales de la Junta de Castilla y León, año 2000.
3. Estos dibujos han sido realizados por Emilio Rodríguez Almeida como hipótesis sobre el proceso constructivo de la cabecera de la Catedral, publicados en *Ensayo sobre la evolución arquitectónica de la catedral de Ávila*, Caja de Ahorros de Ávila, Ávila: 1975

Lista de referencias

Ayucar, M. 1982. La catedral-fortaleza. En *Diario de Ávila*, 12 de abril. Ávila.

Barrios García, Ángel. 1981 *Documentación Medieval de la Catedral de Ávila*. Salamanca: Universidad de Salamanca.

Castro Villalba, Antonio.1996. Historia *de la Construcción Medieval. Aportaciones.* Barcelona: Ediciones UPC.

Feduchi Canosa, P. 1996. Restauraciones en la catedral de Ávila. En *Sacras Moles. Catedrales de Castilla y León. Tempus edax, homo edacior. Vol, 3*, 9–14. Valladolid.

Gómez Moreno, Manuel. 2002. *Catálogo monumental de Ávila.* Ávila: Institución Gran Duque de Alba.

Gómez y González de la Buelga, J. 2003. *La epopeya de la piedra: evolución arquitectónica de la basílica cristiana desde Roma hasta la catedral gótica*. Madrid: COAM.

glo XIX. El Palacio de Cristal ofrece una aproximación radicalmente distinta a las construcciones de la época al plantearse como un sistema estructural basado en la repetición de un mismo módulo e introducir los sistemas de producción industrial y prefabricación.

Estas construcciones de hierro y vidrio eliminan además el empleo de muros como elementos portantes, con la consiguiente reducción de carga muerta, todo lo cual redunda en una mayor simplicidad y transparencia. Reaparece de esta manera la estructura como un elemento visible que contribuye a la arquitectura y los ingenieros pasan a ser miembros necesarios y esenciales del proceso de diseño.

Esta situación alcanza su cenit en la Exposición Universal de París de 1889, con la predominancia de las construcciones de hierro y el apogeo del arte del ingeniero, representado en todo su esplendor por la Torre Eiffel y la Galería de las Máquinas (fig. 2).

Esta última construcción supone un profundo logro técnico, no sólo por el empleo de un sistema de arcos tri-articulados que le permiten salvar grandes luces, sino por el delicado equilibrio alcanzado entre los requisitos estructurales y el refinamiento artístico.

Sin embargo, estas obras de ingeniería son fuertemente contestadas por los arquitectos de la época, que las consideran construcciones utilitarias sin valor artístico, y no serán reconocidas como verdaderas obras de arquitectura, fundamentales en el desarrollo de nuevas formas y tipologías, hasta mucho más tarde.

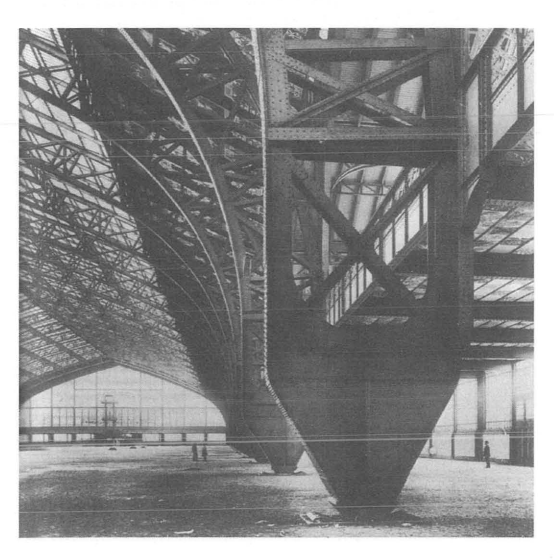


Figura 2
Galería de las Máquinas. París, 1889. Victor Contamin y Ferdinand Dutert. (Deswarte 1997)

Pero si la construcción del siglo XIX está asociada a las estructuras metálicas y a la industrialización, el siglo XX se caracteriza por la aparición del hormigón, armado primeramente y pretensado más adelante, que revoluciona nuevamente el mundo de la ingeniería y la arquitectura.

Al igual que había ocurrido con las estructuras metálicas, el nuevo material es primeramente utilizado por los ingenieros, y son ellos los que se interesan en estudiar sus propiedades y tratan de determinar los sistemas estructurales que mejor se adecuan a sus características, a fin de optimizar su utilización y definir nuevas estrategias formales.

En este sentido, la labor de ingenieros como Robert Maillart, Eduardo Torroja, Eugène Freyssinet, Pier Luigi Nervi o Riccardo Morandi resulta incontestable, y sus construcciones de puentes y edificios imprescindibles en el establecimiento de las formas arquitectónicas del siglo XX asociadas al hormigón.

Así, proyectos como el Frontón de Recoletos de Torroja (fig. 3) o los Hangares de Orbetello de Nervi (fig. 4), contribuyen determinantemente a definir las nuevas posibilidades formales que el hormigón ofrece, al «establecer de una manera definitiva un procedimiento nuevo de ordenación del material para resistir con el mínimo peso» (Manterola 2002a, 41).

Y, mientras que la aceptación por parte de los arquitectos de las estructuras metálicas en el siglo XIX había sido un proceso lento y costoso, el interés y la admiración que suscitaron las nuevas formas derivadas del hormigón fue mucho más rápido y abierto:

> Es a principios del siglo XX cuando se produce una profunda transformación generalizada de la arquitectura, al aceptar las innovaciones tecnológicas y los nuevos materiales como parte fundamental de la nueva arquitectura. Si el hierro fue atacado y despreciado durante muchos años, el hormigón armado se aceptó más fácilmente. Se llegó así a la arquitectura que ha dominado casi todo el siglo XX. El arquitecto se incorporó a las nuevas tecnologías de la construcción y esto supuso una superación casi completa de la polémica arquitectos / ingenieros. (Fernández Troyano 2005, 51)

Esta incorporación de los arquitectos a las nuevas tecnologías derivadas del empleo del hormigón les

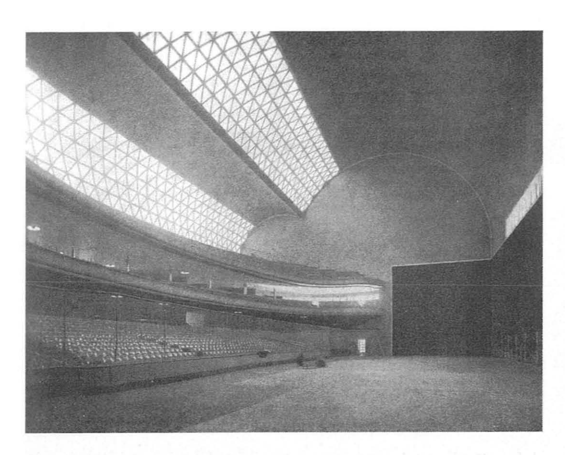


Figura 3
Frontón de Recoletos. Madrid, 1935. Eduardo Torroja y Secundino Zuazo. (Torroja 1998)

lleva a colaborar con los ingenieros estructurales, que conocen y controlan las propiedades y posibilidades del nuevo material, lo que unido al interés de determinados ingenieros por establecer unos planteamientos de trabajo conjunto y colaboración termina de cerrar la brecha existente desde el siglo XIX entre arquitectura e ingeniería.

Es en esta situación, en la segunda mitad del siglo XX, cuando se produce la aparición de materiales como el PVC, el PTFE o el ETFE, que posibilitan el desarrollo de las estructuras hinchables y de las grandes cubiertas colgadas (fig. 5). Estos sistemas ofrecen nuevas posibilidades de enfrentar el problema de las grandes luces y amplían aún más el abanico formal de la estructura.

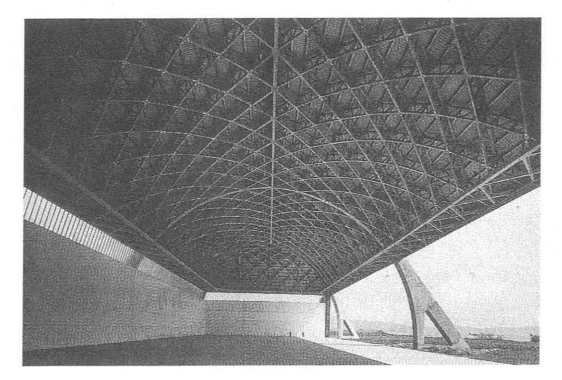


Figura 4
Hangar de Orbotello, 1940. Pier Luigi Nervi. (Picon 1997)



Figura 5
Estadio olímpico de Munich, 1967–1972. Frei Otto, Fritz Leonhardt y Andrä. (Picon 1997)

Así, en definitiva, la aparición de nuevos materiales y el desarrollo del conocimiento del hecho estructural durante los siglos XIX y XX fueron el motor que propició el desarrollo de nuevas formas arquitectónicas y estructurales; desarrollo en el que los ingenieros desempeñaron un papel de gran relevancia.

El proceso de asimilación y dominio de los nuevos materiales y tecnologías

Dentro del análisis del origen de nuevas formas como consecuencia de la aparición de nuevos materiales resulta revelador valorar el proceso de asimilación y dominio que siguen habitualmente.

En primer lugar, cuando aparece un nuevo material, las formas y tipologías estructurales que adopta reproducen los sistemas precedentes, característicos de los materiales existentes, sin aprovechar ni expresar las posibilidades que el nuevo material ofrece. Es lo que podríamos denominar una fase inicial de descubrimiento y experimentación del material.

Así, cuando en 1779 se construye el puente de Coalbrookdale, primer puente metálico construido en el mundo, éste adopta la tipología de arco como herencia de los puentes de piedra, mientras que sus detalles constructivos recuerdan a la construcción en madera (fig. 6).

De la misma manera, los puentes realizados en la primera época del hormigón armado reproducen las

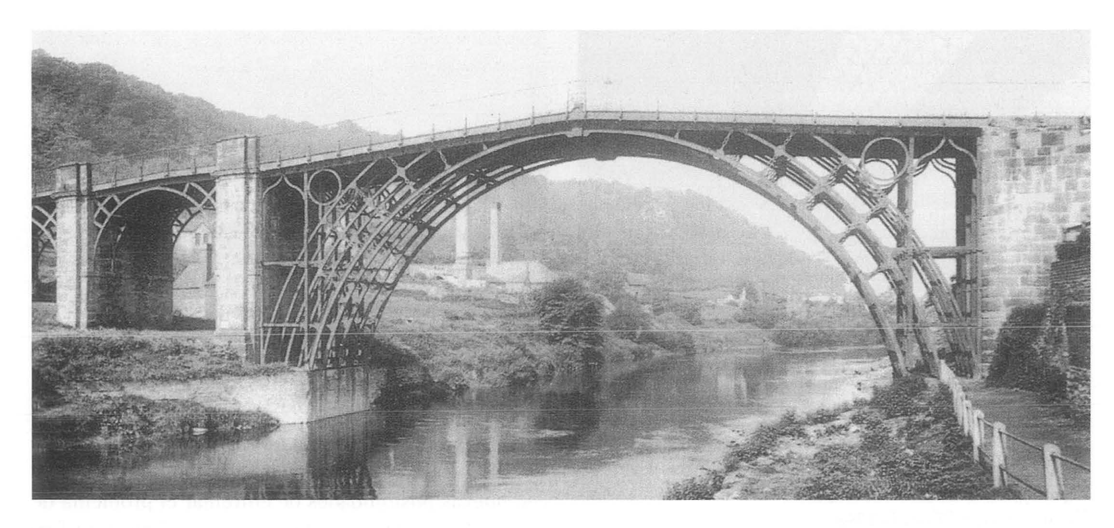


Figura 6
Puente de Coalbrookdale. Inglaterra, 1779. T. Pritchard, A. Darby III y J. Wilkinson. (Fernández Troyano 1999)

vigas en celosía características de los puentes metálicos y, aunque pronto se sustituye esta tipología por la de vigas de alma llena, se siguen utilizando vigas trianguladas para salvar grandes vanos, como en la pasarela de Ivry, de 135 metros de luz (fig. 7).

También en las estructuras de edificación resulta clara esta mimesis con las formas y tipologías precedentes al aparecer un nuevo material. Así, a finales del siglo XVIII el procedimiento más habitual para la formación de forjados metálicos consiste en la disposición de bovedillas de ladrillo entre las vigas metálicas, herencia directa de la construcción tradicional con vigas de madera. De la misma manera, los forjados de hormigón armado adoptan generalmente sistemas de vigas y pilares (fig. 8), que no ofrecen una variación tipológica relevante respecto a los anteriores forjados de estructura de madera o metálicos.

Sin embargo, poco a poco, la experimentación con el nuevo material y el aumento del conocimiento y control de sus características y propiedades llevan al planteamiento de nuevas formas y sistemas, acordes con las posibilidades que el nuevo material ofrece:

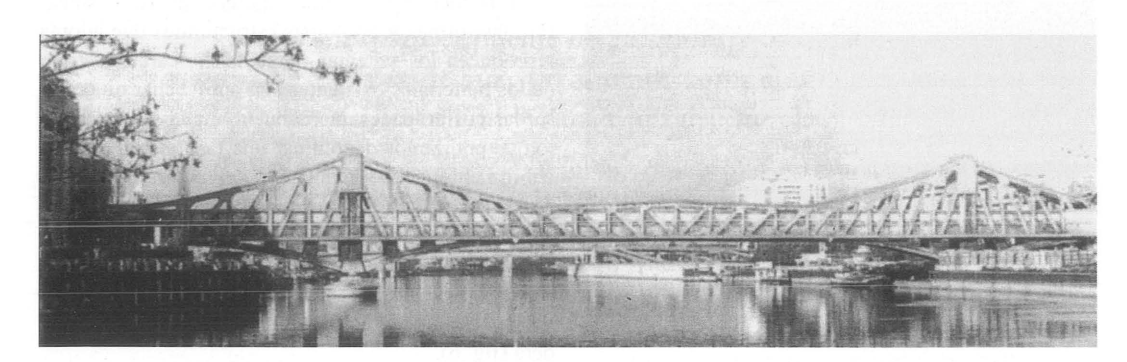


Figura 7
Pasarela de Ivry. París, 1930. (Fernández Troyano 1999)

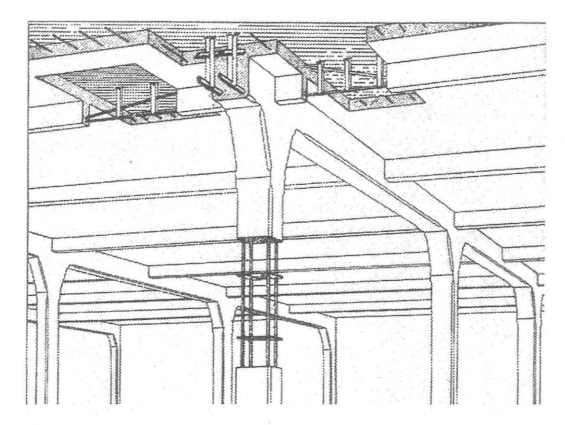


Figura 8
Sistema de forjados viga-pilar en hormigón armado. François Hennebique. (Deswarte 1997)

Toda innovación tecnológica produce desorientación inicial . . . Pero al irse desarrollando la tecnología del nuevo material, los puentes van evolucionando hasta llegar a su madurez, y en ella se consigue una adecuación de materiales, estructuras, y formas. (Fernández Troyano 1999, 109)

Es en esta fase de conocimiento y madurez donde aparecen nuevas formas y tipologías, que afirman las condiciones intrínsecas y específicas del nuevo material. Ejemplos relevantes de esta fase son las obras que hemos comentado en el punto anterior.

Esas construcciones muestran las posibilidades formales de los distintos materiales estructurales y tratan de establecer las formas resistentes más apropiadas a sus características, con un criterio claro de rigor estructural, según el cual la forma viene determinada por los esfuerzos a los que se ve sometida la estructura y por la naturaleza de los materiales, y la belleza de la construcción se apoya en la depuración de las formas y la optimización de su comportamiento resistente. Es la apoteosis de la forma ingenieril:

Cada material tiene una personalidad específica distinta, y cada forma impone un diferente fenómeno tensional. La solución natural de un problema —arte sin artificio—, óptima frente al conjunto de impuestos previos que la originaron, impresiona con su mensaje, satisfaciendo, al mismo tiempo, las exigencias del técnico y del artista . . . Antes y por encima de todo cálculo está la idea, moldeadora del material en forma resistente, para cumplir su misión. (Torroja 1998, VII)

Finalmente, el conocimiento y control de las propiedades de los nuevos materiales y la aceptación e interés por parte de los arquitectos de las posibilidades formales que éstos ofrecen desembocan en una fase que podríamos calificar de sobredominio del material.

En esta fase, motivada por las inquietudes formales de los arquitectos, se aprovechan las posibilidades que ofrece el nuevo material, pero las formas planteadas se alejan de las derivadas estrictamente de sus propiedades y características intrínsecas, en busca de una plasticidad personal que la forma resistente pura no es capaz de proporcionar.

Así, a finales de los años cincuenta Eero Saarinen diseña la terminal de la TWA en Nueva York utilizando una lámina de hormigón de geometría compleja, deudora de los desarrollos formales de Torroja, pero cuya geometría se aleja decididamente del rigor estricto de las formas ingenieriles para adoptar una libertad y una plasticidad nuevas (fig. 9).

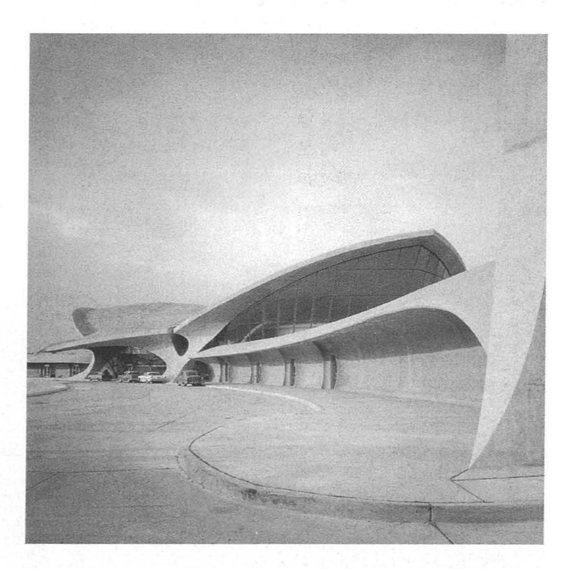


Figura 9
Terminal de la TWA. Aeropuerto de Idlewild. Nueva York, 1956–1962. Eero Saarinen con Ammann & Whitney. (Gössel 2005)

Y esta nueva libertad formal sugerida por los arquitectos, que se sirve de los nuevos materiales y sistemas, pero que no deriva directamente de ellos, constituye el preámbulo de la situación arquitectónica e ingenieril actual.

La situación actual

El desarrollo tecnológico actual y la nueva libertad formal

Frente a las situaciones de épocas anteriores, el origen de las formas fracturadas, angulosas e informes de la arquitectura actual no se encuentra en la utilización de nuevos materiales, sino en el extraordinario desarrollo tecnológico que se ha producido recientemente.

En efecto, el final del siglo XX y el comienzo del XXI han estado marcados por las extraordinarias innovaciones que se han producido en las técnicas auxiliares de proyecto y ejecución, llegando a una situación en la que prácticamente cualquier planteamiento formal puede ser resuelto y construido. Así mismo, el creciente desarrollo de la informática ha convertido al ordenador en un potentísimo asistente de la concepción, permitiendo el análisis y la representación gráfica de propuestas altamente complejas.

A estos avances informáticos y tecnológicos hay que añadir además la mejora de las propiedades de los materiales estructurales (en términos de resistencia, control, durabilidad . . .) y la gran profundización del entendimiento estructural (cálculos dinámicos, no linealidad de las estructuras, análisis de los efectos de inestabilidad . . .), todo lo cual ha creado una situación de «sobredominio del hecho estructural» (Martínez Calzón 2005).

Sin embargo, a esta situación se contrapone el hecho de que, de una manera general, no han aparecido durante este período nuevos materiales o sistemas estructurales de la relevancia de los ya existentes, que permitan a los ingenieros sugerir nuevas soluciones formales que puedan influir de manera determinante en el diseño de los proyectos.

La libertad de formas actual, por lo tanto, no es producto de nuevos materiales o tipologías estructurales, sino de la potencia de las técnicas auxiliares de

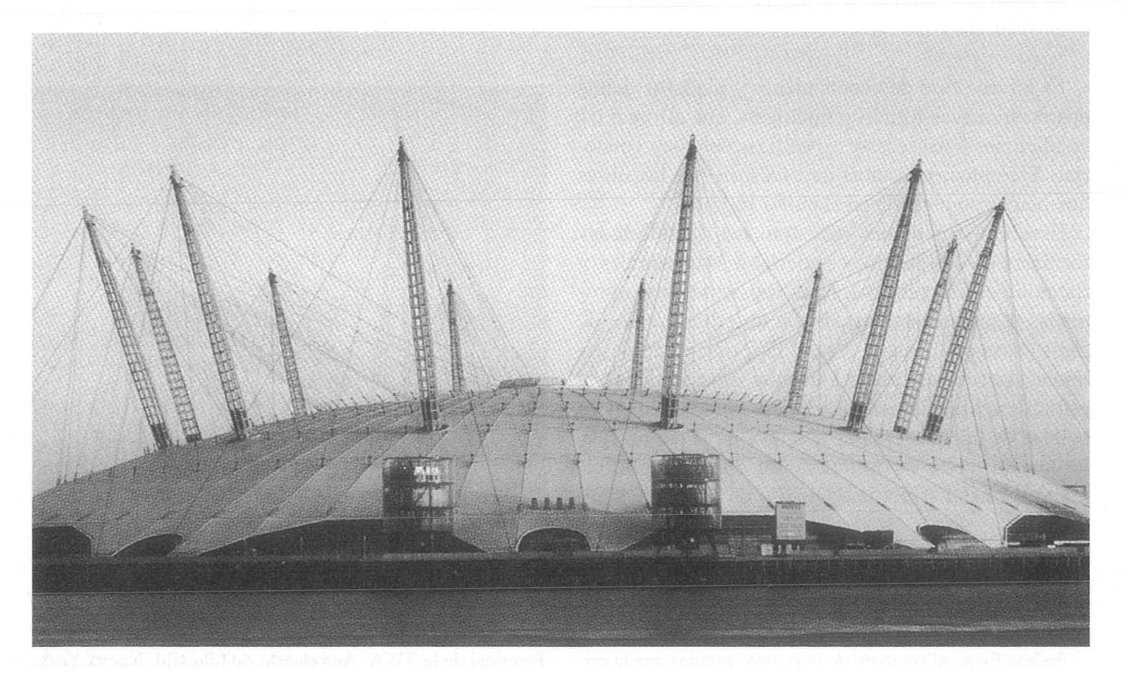


Figura 10
Cúpula del Milenio. Londres, 1996–1999. Richard Rogers y Buro Happold. (Lyall 2002)

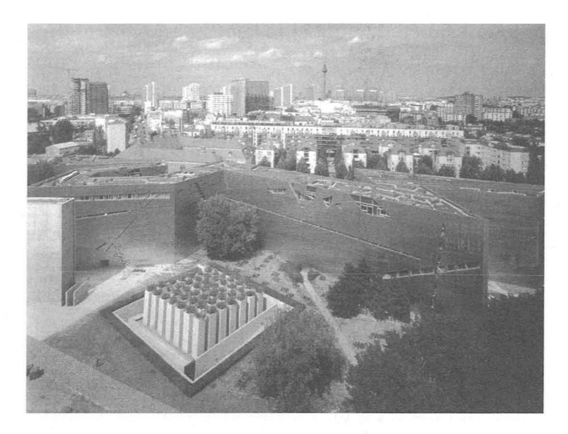


Figura 11
Museo Judío. Berlín, 1989–1999. Daniel Libëskind y GSE-IGW. (Libeskind 2001)

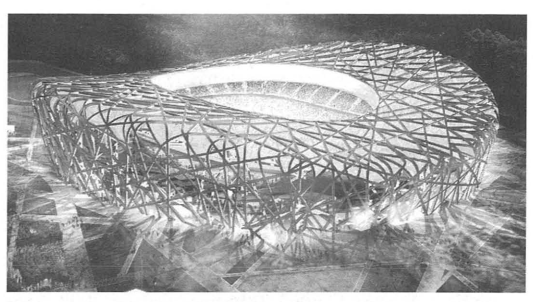


Figura 12
Estadio Olímpico de Pekín, 2002–2007. Herzog & de Meuron y Ove Arup & Partners. (Herzog & de Meuron)

diseño y construcción y del sobredominio estructural. Sobredominio que aumenta exponencialmente las posibilidades estructurales, dando origen a una gran heterogeneidad de formas y estilos.

Si hasta hace relativamente poco tiempo era necesario simplificar las formas arquitectónicas de manera que se ajustaran a geometrías conocidas para posibilitar su representación, cálculo y construcción, hoy esto ya no es necesario, sino que disponemos de los medios suficientes como para representar, calcular y construir cualquier forma. No es necesario, por lo tanto, que exista una lógica interna que permita generar y controlar las formas, sino que su geometría puede venir definida por el trazo libre del arquitecto.

Los condicionantes estructurales y constructivos que delimitaron y enmarcaron el desarrollo de las formas arquitectónicas en épocas anteriores están hoy superados, mientras que los condicionantes económicos son cada vez más débiles. La arquitectura, actualmente, está en una posición de poder hacer lo que se le ocurra al arquitecto. Como explica el ingeniero Javier Manterola:

> Del reino de la necesidad se ha pasado al de la decisión proyectual. Y esto resulta evidente en una época tan ecléctica como la actual, en la que coexisten tanto el pensamiento arquitectónico que ignora lo resistente en la conformación de su pensamiento, como aquel otro que lo sublima utilizándolo como uno de sus principales valores expresivos. (Manterola 1988, 17)

Un rápido recorrido por algunos de los edificios más relevantes de los últimos años ilustran claramente esta variedad de formas arquitectónicas, cuyo eclecticismo da muestra del grado de libertad e inquietud actual (figs. 10, 11 y 12).

Esta ausencia de las exigencias de cálculo, representación y construcción ha ampliado radicalmente el abanico de posibilidades, permitiendo la aparición de muchas propuestas válidas e interesantes. Sin embargo, esta nueva libertad formal ha traído también consigo una demanda creciente de formas novedosas y espectaculares que ha motivado la aparición de numerosas propuestas banales y vacías de contenido. Como explica el arquitecto suizo Jacques Herzog:

> El problema de la arquitectura actual no es la ausencia de libertad, sino la libertad misma . . . Sin embargo, el problema es precisamente esa riqueza, las variaciones interminables que inundan el mundo de la arquitectura y el arte, creando una especie de ceguera. La cuestión, al cabo, es cómo eludir la tiranía de la innovación. (Fernández-Galiano 2005, 20)

Posibles actitudes del ingeniero estructural

En este contexto, el ingeniero estructural puede adoptar una actitud pasiva a nivel de diseño, aceptando la forma arquitectónica como un enunciado predefinido, limitándose a resolver el problema estático que se le plantea. Por supuesto, el desarrollo del proyecto hará que determinados aspectos de la propuesta inicial del arquitecto deban ser revisados y ajustados para acomodar la estructura, pero en gran medida el

ingeniero permanecerá ajeno a su definición formal. En este caso, el arquitecto asume la práctica totalidad del diseño del proyecto, mientras que el ingeniero parte de ese diseño y lo interpreta en términos estructurales:

> Es decir: el ingeniero debe ser un intérprete preciso y exacto de su parte en la orquesta, cuyo director —compositor— es el arquitecto, y en la que, junto con otros técnicos, debe lograr una interpretación fiel y ajustada en tempo, afinación y ritmo. (Martínez Calzón 2006, 355)

Es importante destacar que este planteamiento es absolutamente válido y puede dar lugar a proyectos de gran acierto y belleza. La estructura es uno de los elementos que pueden ser utilizados como punto de partida para la definición formal del proyecto, pero no es imprescindible que sea así.

Un ejemplo claro en este sentido es el museo Guggenheim de Bilbao (fig. 13), en el que la estructura se subordina a la forma diseñada por el arquitecto. En efecto, la estructura, a pesar de quedar vista en muchos de los espacios, está condicionada y determinada por una forma predefinida que le resulta, en gran medida, ajena. La estructura hace posible el proyecto, pero no influye de manera relevante en el diseño del mismo, que es obra del arquitecto.

Por otra parte, el ingeniero estructural puede adoptar en cambio una actitud activa en el diseño, buscando estrategias y herramientas que le permitan hacer que la estructura adquiera una relevancia determinante en la definición formal del proyecto. En este caso la estructura cumple, además de los necesarios requisitos de resistencia y estabilidad, una labor compositiva y formal de gran importancia.

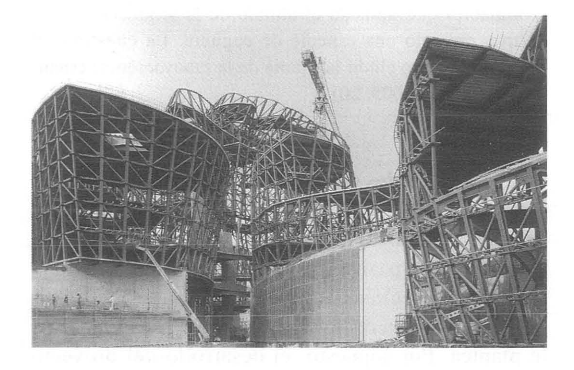


Figura 13
Museo Guggenheim. Bilbao, 1991–1997. Frank Gehry y SOM. Ejecución de la estructura. (Lyall 2002)

Así, al igual que en épocas anteriores el desarrollo de nuevos materiales y sistemas estructurales posibilitó, en manos de ingenieros de talento, la aparición de nuevas formas estructurales y arquitectónicas, el ingeniero actual puede proponer nuevas herramientas de diseño estructural que sean capaces de definir o sugerir conceptos compositivos y formales que determinen, en gran medida, el diseño del proyecto. El ingeniero trasciende entonces su función de asistente técnico del arquitecto, siendo el diseño final del proyecto resultado de un trabajo conjunto que engloba los conceptos formales de ambos, arquitecto e ingeniero estructural.

Sin embargo, para que pueda existir una colaboración de este tipo deben darse una serie de factores que la hagan posible:

- En primer lugar, la colaboración entre el arquitecto y el ingeniero estructural debe comenzar desde el inicio del proyecto, de manera que los dos participen en la definición formal y conceptual del mismo.
- El arquitecto tiene que estar dispuesto a que la estructura adquiera una relevancia y un protagonismo importante en el proyecto. Esta relevancia de la estructura no tiene que ser visualmente explícita, pero sí intervenir de manera clara en la definición y configuración del proyecto.
- El ingeniero estructural debe tener la habilidad suficiente para racionalizar la propuesta del arquitecto. Debe proponer un planteamiento estructural que sea capaz de ofrecer una respuesta satisfactoria a los requisitos e inquietudes del arquitecto, con el suficiente potencial y carácter como para intervenir en el diseño del proyecto.
- El proyecto debe tener unas características propicias que posibiliten el desarrollo de propuestas de este tipo. En efecto, proyectos muy condicionados por requisitos funcionales o de programa, pueden dificultar en gran medida la aparición de estos planteamientos, al limitar la libertad que a menudo requieren.
- Finalmente, debe existir entre el arquitecto y el ingeniero una estrecha colaboración basada en la confianza, el respeto y la complicidad mutuas, que permitan el desarrollo conjunto del diseño.



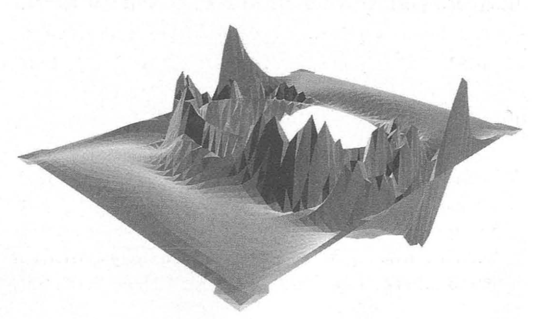


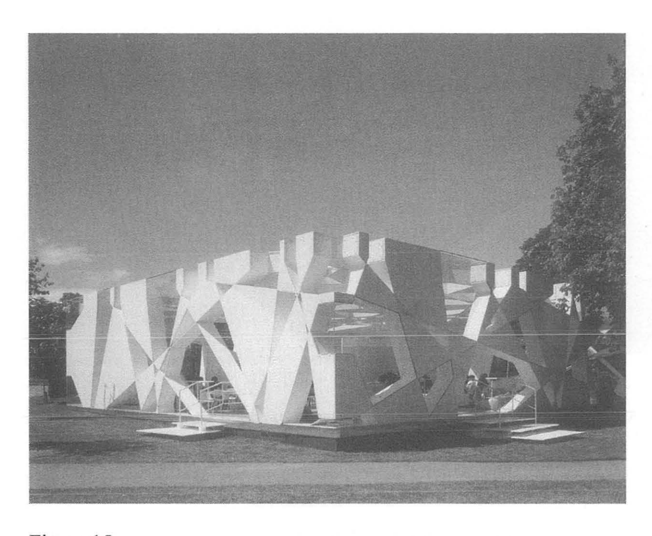
Figura 14
Cubierta del British Museum. Londres, 1997–2000. Norman Foster y Buro Happold. Vista interior y Modelo de desarrollo de la cubierta. (Buro Happold y Williams 2004)

En el caso en que confluyan estos condicionantes, cuando un arquitecto y un ingeniero deseosos de explorar el potencial de determinados planteamientos estructurales colaboren estrechamente en un proyecto que goce de unos condicionantes propicios para ello, nos encontraremos en una situación clara de colaboración multiplicadora.

Dentro de estos planteamientos de búsqueda de nuevas herramientas y estrategias de diseño estructural resulta interesante valorar el interés del ingeniero británico Peter Rice por el empleo de los materiales. En efecto, en una época en la que el potencial de los nuevos materiales estructurales ya se había desarrollado, Rice planteó la utilización de materiales conocidos de forma no convencional y el empleo de materiales poco utilizados en construcción. Es el caso de algunos de los proyectos realizados en colaboración con Renzo Piano, quien comparte su interés por explorar el potencial de materiales no convencionales y por expresar su naturaleza. Así, para la cubierta de la Fundación Menil utilizaron un sistema estructural de vigas celosía de hierro dúctil y ferrocemento, mientras que en el pabellón itinerante de IBM, los requisitos de ligereza y transparencia les llevaron a utilizar el aluminio y el policarbonato como materiales estructurales.

Otro ejemplo interesante de empleo de estrategias de definición de la forma desde la estructura lo encontramos en algunos de los proyectos de Mike Cook, discípulo de Edmund Happold y deudor en gran medida de los planteamientos desarrollados por éste en colaboración con Frei Otto en el campo de las estructuras ligeras. Lo que Cook propone es orientar el empleo de los mecanismos actuales de diseño y análisis computerizado a la búsqueda de sistemas que optimicen geométricamente el empleo de los materiales, consciente de la necesidad actual de preservar los recursos globales. Al igual que en el caso de Otto y Happold el objetivo está en, tomando como punto de partida las estructuras de la naturaleza, desarrollar sistemas que garanticen un empleo eficiente de los materiales. Sin embargo, los modelos físicos utilizados por Otto y Happold son ahora sustituidos por potentes modelos digitales que permiten dar una respuesta estructuralmente eficiente a la nueva libertad formal de la arquitectura contemporánea. Es el caso, por ejemplo, del proyecto de la cubierta del British Museum, de Norman Foster, en el que se desarrolló un sistema de generación de la forma para definir la geometría y volumetría de la cubierta. Este sistema permitió controlar el nivel de tensiones en las distintas zonas, posibilitando el empleo de elementos estructurales metálicos de pequeño tamaño, que garantizan la transparencia deseada (fig. 14).

Finalmente, todo el trabajo del ingeniero Cecil Balmond en los últimos años ha estado orientado al desarrollo de mecanismos y sistemas de definición de la estructura que permitan que ésta adopte un papel relevante en el diseño del proyecto. Así, Balmond propone estrategias de generación de la estructura basadas en la distorsión de los ordenes estructurales clásicos, en el análisis de la propia respuesta de la estructura y de la naturaleza de sus esfuerzos, o en el empleo de algoritmos geométricos o matemáticos. Es el caso,



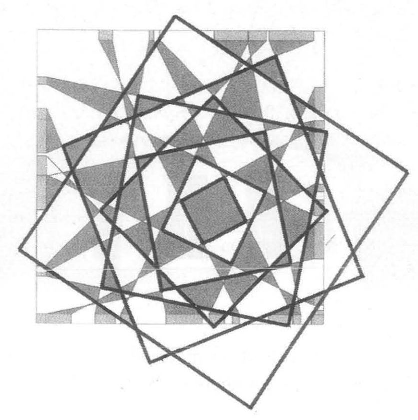


Figura 15
Pabellón temporal de la Serpentine Gallery. Londres, 2002. Toyo Ito y Cecil Balmond. Vista general y Generación de la malla estructural. (a+u 2006 y Esquema del autor)

por ejemplo, del proyecto del pabellón temporal de la Serpentine Gallery, realizado en 2002 en colaboración con Toyo Ito (fig. 15). En este proyecto, la composición de la piel estructural que envuelve el pabellón está generada a partir de un algoritmo geométrico basado en una serie de cuadrados que reducen su tamaño conforme giran —conservando su centro—, y prolongan sus lados de manera que se crucen entre sí, extendiéndose por toda la superficie de la cubierta y las fachadas.

Conclusiones

La aparición de nuevos materiales en los siglos XIX y XX, utilizados inicialmente por los ingenieros, tuvo una influencia determinante en el desarrollo de nuevas formas arquitectónicas, profundamente marcadas por su respuesta estructural.

Sin embargo, la situación arquitectónica actual está caracterizada por una nueva libertad proyectual que permite la construcción de prácticamente cualquier propuesta formal. Esta situación ha convertido a los arquitectos en autores exclusivos del proyecto, relegando en muchas ocasiones a los ingenieros al papel de simples colaboradores o asistentes, negándoles la participación en la definición formal del proyecto.

Ante esta situación el ingeniero puede reaccionar proponiendo nuevas estrategias de diseño estructural, que permitan el desarrollo de nuevas formas y sistemas, y sean capaces de devolver a la estructura el potencial creativo y compositivo que ha tenido en épocas anteriores. En este caso se establece con el arquitecto un sistema de colaboración multiplicadora, en el que a los conceptos formales del arquitecto se suman los planteamientos estructurales del ingeniero, para definir conjuntamente un proyecto que es mucho más que la suma de una forma y una estructura independientes.

Este es el reto que las nuevas tecnologías y las inquietudes arquitectónicas actuales nos presentan. De nosotros depende que seamos capaces de afrontarlo de manera rigurosa y coherente.

Lista de referencias

a+u. ed. 2006. *Cecil Balmond*. a + u. Architecture and Urbanism, Noviembre 2006.

Addis, Bill. 2001. *Creativity and Innovation. The structural engineer's contribution to design.* Oxford: Architectural Press.

Bernabeu Larena, Alejandro. 2005. *Universal exhibitions: a unique frame to analyse the interaction between engineers and architects.* Actas del Congreso *Teoria e pratica*

del costruire: saperi, strumenti, modelli. Esperienze didattiche e di ricerca a confronto. Dipartimento di Architettura e Pianificazione Territoriale. Università di Bologna.

Balmond, Cecil. 2002. *Informal.* Prestel Verlag.

Brown, André. 2001. *The Engineer's Contribution to Contemporary Architecture. Peter Rice.* Londres: Thomas Telford Publishing.

Cook, Mike. 2004a. *An engineer's perspective.* En Brookes, Alan J. y Poole, Dominique. *Innovation in architecture*, 74–82. Londres: Spon Press.

Cook, Mike. 2004b. *Digital tectonics. Historical perspective - future prospect.* En Leach, Neil; Turnbull, David y Williams, Chris. *Digital tectonics*, 40–49. Gran Bretaña: Wiley-Academy.

Deswarte, Sylvie y Lemoine, Bertrand. ed. 1997. *L'architecture et les ingénieurs. Deux siècles de réalisations.* Paris: Groupe Moniteur.

Fernández-Galiano, Luis. 2005. *La belleza súbita.* El País, Babelia, 19 febrero 2005, 20.

Fernández Troyano, Leonardo. 1999. *Tierra sobre el agua. Visión histórica universal de los puentes.* Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Fernández Troyano, Leonardo. 2005. *Arquitectos e ingenieros. Historia de una relación.* Revista de Obras Públicas, no 3460, Noviembre Diciembre, 41–54.

Gössel, Peter y Leuthäuser. 2005. *Arquitectura del siglo XX.* Taschen.

Libeskind, Daniel. 2001. *The space of encounter.* Londres: Thames & Hudson.

Lyall, Sutherland. 2002. *Maestros de la estructura. La ingeniería en las edificaciones innovadoras.* Barcelona: Art Blume.

Macdonald, Angus. [1994] 2001. *Structure & Architecture.* Oxford: Architectural Press.

Manterola, Javier. 1988. *Estructuras resistentes en la obra de Norman Foster.* En Mateo, Josep Lluís. ed. *Norman Foster. Obras y proyectos 1981–1988.* Colegio de arquitectos de Catalunya. Monografías de Quaderns d'Arquitectura i Urbanisme, 16 - 21. Barcelona: Gustavo Gili.

Manterola, Javier. [1999] 2002a. *La estructura resistente en la arquitectura actual. (1).* Revista del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de la Región de Murcia, nº 22, Julio 2002, 38–44. Publicado originalmente en la revista Astrágalo, nº 13, Diciembre 1999.

Manterola, Javier. [1999] 2002b. *La estructura resistente en la arquitectura actual. (2).* Revista del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de la Región de Murcia, nº 23, Diciembre 200, 36–43. Publicado originalmente en la revista Astrágalo, nº 13, Diciembre 1999.

Margolius, Ivan. 2002. *Architects + Engineers = Structures.* Gran Bretaña: Wiley Academy.

Martínez Calzón, Julio. 2005. *Los sistemas estructurales en la arquitectura contemporánea.* Conferencia impartida en el Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid el 21 de Febrero de 2005.

Martínez Calzón, Julio. 2006. *Puentes, estructuras, actitudes.* Turner.

McBeth, Douglas. 1998. *François Hennebique (1842–1921), reinforced concrete pioneer.* Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Mayo 1998, 86–95.

Newby, Frank. 1996. *The innovative uses of concrete by engineers and architects.* Historic Concrete, Paper 11066.

Newby, Frank. ed. 2001. *Early reinforced concrete.* Studies in the history of civil engineering, volumen 11. Ashgate.

Picon, Antoine. ed. 1997. *L'Art de l'Ingénieur. Constructeur, entrepreneur, inventeur.* Paris: Editions du Centre Pompidou.

Rice, Peter. [1994] 1998. *Mémoires d'un ingénieur.* Paris: Groupe Moniteur. Traducido del originial *An engineer imagines.* Londres: Artemis.

Torroja Miret, Eduardo. [1957] 1998. *Razón y ser de los tipos estructurales.* Novena edición. Madrid: Consejo superior de investigaciones científicas.

Thorne, Robert. ed. *Structural Iron and Steel.* Studies in the history of civil engineering, volumen 10. Ashgate.

Williams, Chris. 2004. *Design by algorithm.* En Leach, Neil; Turnbull, David y Williams, Chris. *Digital tectonics*, 78–85. Gran Bretaña: Wiley-Academy.

Las presas historicas españolas. Ingeniería y patrimonio

Francisco Bueno Hernández

La disponibilidad de agua ha sido desde épocas remotas uno de los condicionantes más fuertes para el establecimiento y posterior desarrollo de los asentamientos y, por ende, de la ocupación del territorio y de la distribución de la población. Por poner tan sólo algunos ejemplos históricos de todos conocidos, basta recordar que el abandono del floreciente asentamiento de Petra se debió a la fuerte presión demográfica sobre unas disponibilidades limitadas, o cómo la abundancia de agua propició el auge y esplendor de las ciudades nacidas en las proximidades de los ríos Tigris o Eúfrates en épocas remotas.

No obstante, en un elevado número de casos la disponibilidad de agua no ha sido el factor determinante, estableciéndose y desarrollándose los asentamientos en función de criterios de otro tipo, y ello a lo largo de todas las épocas. Es el caso, en épocas antiguas, del establecimiento de campamentos o ciudades en zonas fronterizas con el fin de servir de base de los ejércitos de defensa o de control del comercio o, en la actualidad, del auge de zonas turísticas en zonas con escasez natural de tal recurso.

De esta forma, el necesario equilibrio entre las necesidades y las disponibilidades de agua ha dependido siempre de un buen número de variables, que en una primera aproximación pueden clasificarse en dos grupos: físicas y sociales, entendiendo como tales, respectivamente, las relativas al entorno natural en el cual el hombre desarrolla sus actividades y las relativas a las actividades humanas en sentido amplio, es decir, históricas, políticas, militares, sociales o económicas. La búsqueda de este equilibrio ha requerido en cada circunstancia particular la adopción de soluciones de distinto tipo. Entre estas soluciones, a lo largo de toda la historia y en todas las civilizaciones, siempre han destacado los azudes de derivación y las presas de embalse.

Como soluciones al compromiso nacido de la dicotomía existente entre disponibilidades y necesidades, las presas y azudes han sido y son a su vez causa y consecuencia de los procesos sociales, económicos y de ocupación u ordenación del territorio a lo largo de la historia, en todos los tiempos y en todos los lugares. Es decir, pueden y deben verse como causa y como consecuencia de la realidad de los distintos pueblos y gentes que han ido poblando las diversas regiones de nuestro planeta y conformando la Historia, hasta nuestros días.

Todo esto, que es válido de forma general, adquiere especial importancia en aquellos países en los que el agua no es un bien abundante, como es el caso de España. De esta forma, las presas y azudes han sido actores principales de la Historia de España, y ello en un doble ámbito o nivel: por un lado en el cotidiano y por otro, en uno más amplio o global, el que afecta a niveles de organización superior y a la planificación territorial.

Además de esta concomitancia con la realidad social y de otras características —entre las que destaca la de ser obras de ingeniería con un «plus» grande de complejidad y dificultad por las «intensas» relaciones entre el trinomio presa-terreno de apoyo-agua—,

otra, poco conocida, pero que afortunadamente está adquiriendo importancia en los últimos tiempos es la de ser una importante y desconocida parte de nuestro Patrimonio Histórico y Cultural.

Las presas en las primeras civilizaciones

Es opinión generalizada hoy en día que la construcción de presas y embalses se desarrolló simultáneamente en las distintas regiones del mundo en conformidad con las necesidades locales. Desde un punto de vista constructivo, su desarrollo puede considerarse como resultado de una «experiencia exclusiva» en el sentido de que las distintas soluciones ensayadas se seguían utilizando o no en función de su resultado, es decir de si cumplían los fines para las que se construían.

Las presas más antiguas conocidas están localizadas a unos 100 km de Aman, en Jordania, y formaban parte de un elaborado sistema de suministro de agua a la ciudad de Jawa, que tuvo un breve pero intenso periodo de esplendor alrededor del año 3000 a.d.C. Los cinco embalses de *Jawa* tenían una capacidad conjunta próxima a 46.000 m^3 y la presa mayor tenía una altura de 4,50 metros y una longitud de 80 metros en coronación.

Los restos de presas posteriores que han llegado hasta nuestros días son numerosos, pertenecen a la casi totalidad de las civilizaciones más florecientes y se encuentran en la mayor parte de las regiones. Se conocen presas desde el Valle del Nilo hasta China o América Central y desde Oriente Medio hasta la isla de Ceilán, siendo construidas por pueblos tan diferentes como los que supieron aprovechar las fértiles vegas del Nilo o los que se acostumbraron a vivir en los desiertos del sudoeste de Asia gracias a sus «sofisticadas» formas de manejar el agua.

Los embalses de estas primeras civilizaciones tuvieron una gran variedad de usos, si bien la mayoría fueron construidas con fines de riego y abastecimiento a poblaciones. Otros usos habituales fueron los usos industriales y la minería, la retención de sedimentos arrastrados por los ríos y torrentes para crear de forma artificial fértiles vegas y controlar las avenidas que amenazaban asentamientos, ciudades o campos.

Los tres milenios anteriores a nuestra era se caracterizaron en el campo de las presas por su diversidad en cualquiera de los aspectos que se considere: tipología, características hidráulicas, materiales utilizados o finalidad.

Las presas romanas en Hispania

Las primeras presas romanas conocidas se construyeron en el cambio de era, a pesar de que con anterioridad Roma ya había ocupado sus provincias del este —Turquía, Siria, Israel o Jordania—, con una gran tradición en esta técnica. De entre todas sus provincias destacaron en la construcción de presas tres grandes zonas: el norte de África —en las actuales Marruecos, Túnez y Argelia—, las provincias del Este (actual Oriente Medio) e Hispania y, en menor medida, el actual Irán y el norte de Italia y este de Francia.

Aun cuando en Hispania —la actual península Ibérica— existen restos de presas romanas repartidas por un buen número de zonas, cuatro son las principales: la de los alrededores de Emérita Augusta —la actual Mérida—, la situada al sur de Toletum —la actual Toledo—, la de la cuenca del río Aguasvivas, tributario del Ebro por margen derecha, y otros afluentes y la del sur de la actual Portugal, entonces perteneciente a la Lusitania, cuya capital era Emérita Augusta. Cada una de estas zonas tiene características particulares en cuanto a tipología, ubicación de aliviaderos e incluso fábricas utilizadas.

Del elevado número de presas de origen romano comprobado, dos de las importantes están en explotación en la actualidad: *Proserpina*, de 22 metros de altura, y *Cornalbo*, de 21 metros de altura, construidas originalmente en el cambio del siglo I a II, muy cercanas a la ciudad de Emérita Augusta y construidas para su abastecimiento. Esta ciudad llegó a tener tres sistemas independientes de abastecimiento, construidos a lo largo de los años y con soluciones bien diferentes: uno captaba el agua de los aluviales y coluviales del río Guadiana mediante galerías revestidas de sillares sin rejuntar, otro tenía como elemento principal la presa de *Proserpina* y otro captaba agua de un manantial en el actual vaso del embalse de *Cornalbo*, hasta que su irregular caudal no fue suficiente, momento en el que se construyó una presa con el fin de regularlos. Los tres sistemas se complementaban además con otras obras tales como acueductos, depósitos de regulación, canales o

túneles, y forman una de las muestras de ingeniería hidráulica romana más importantes del mundo (figs. 1 y 2).

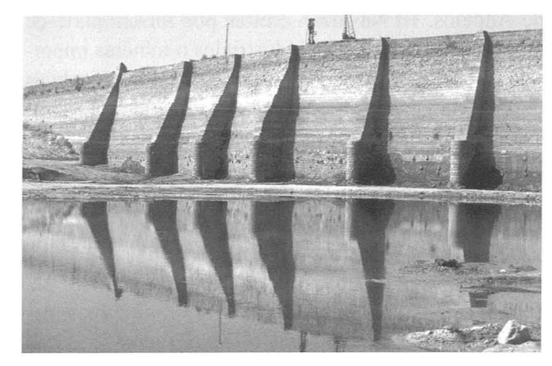


Figura 1



Figura 2

Pero la mayoría de las presas de este grupo, al igual que las de los otros grupos, no tienen estas dimensiones, sino que se trata de obras que hoy nos parecerían modestas en cuanto a dimensiones, con alturas nunca superiores a 6 metros, pero de extraordinario interés. En su mayor parte, sus fines eran la de servir de regulación general a las diversas «villae» romanas de la zona.

Tan sólo una de ellas, la de *Esparragalejo*, ha llegado hasta nuestros días en funcionamiento, aunque después de una desafortunada intervención que ha enmascarado su tipología y su fábrica; el resto se encuentra en ruinas y en sitios de difícil acceso, lo que contribuye a su desconocimiento, en contraste con los amplios estudios y «popularidad» del resto de ruinas romanas de la zona, y ello a pesar de su evidente interés.

De las presas del grupo de Toledo, destacan la presa de *Alcantarilla*, cabecera del abastecimiento a la Toletum romana, de 15 metros de altura máxima y cerca de 550 metros de longitud, de aspecto imponente y verdadera muestra de la maestría romana en la ejecución de sus fábricas de todo tipo, y la más «humilde» pero no menos interesante presa de *Consuegra*, que abastecía de agua a Consaburrum, de 5 metros de altura máxima, pero con la mayor longitud de todas las presa romanas conocidas en el mundo con sus casi 650 metros (fig. 3).

De la primera, *Alcantarilla*, y del sistema del que era cabecera, sigue desconcertando a algunos —y dando la razón a otros— el que los romanos prefiriesen llevar el agua desde esta presa situada a 40 km

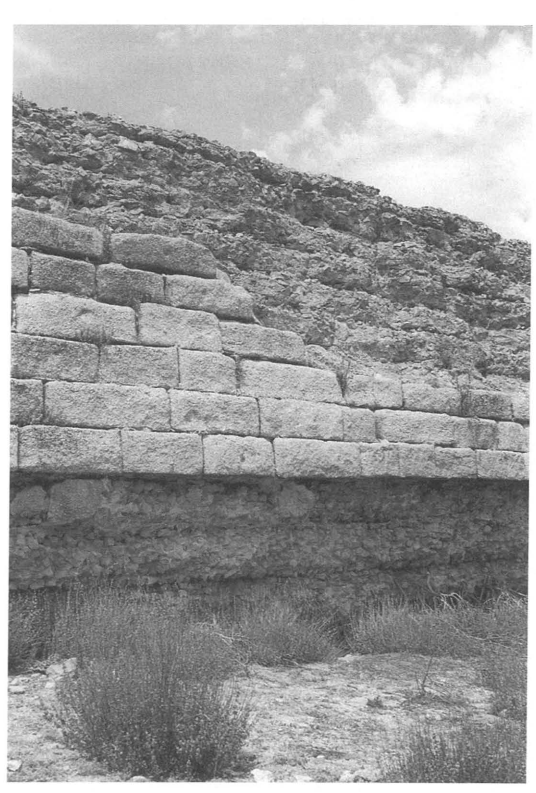
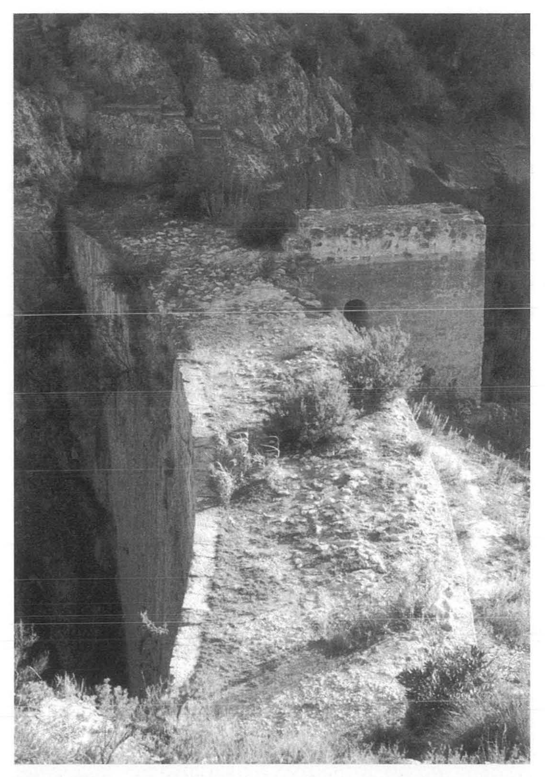


Figura 3


Figura 7

go de muy amplias zonas— conllevaba tener que conducir a su través unos caudales muy superiores a los de anteriores presas de embalse. Las experiencias en estos aspectos en las presas levantinas sirvieron de punto de referencia para un buen número de presas posteriores, tanto en España como en el mundo.

En Extremadura y durante los siglos XVI al XVIII se construyeron un elevado número de presas de distintas alturas, formas e importancia, entre las que se encuentran algunas realmente significativas dentro del panorama mundial, formando un grupo de características especiales en cuanto a forma y estructura, con perfiles muy robustos a los que se adosaban contrafuertes en el paramento yuso, la mayor parte de las veces de forma innecesaria.

La finalidad habitual era la generación de fuerza motriz para la molienda de trigo y otros cereales, siendo otras finalidades, en las presas más pequeñas, el abastecimiento de poblados pequeños, el servir de abrevadero al ganado y el regadío de pequeñas huertas y explotaciones. Estas presas sirvieron también de modelo para un gran número de presas construidas por los españoles en las colonias de América, en las que participaron maestros y constructores comunes o discípulos de los primeros.

De estas presas destaca su belleza, formando conjuntos presa-molinos-entorno difíciles de encontrar en otras presas de cualquier época y tipología, siendo esto no solo aplicable a las más importantes, caso de las de *Zalamea*, *Albuhera de Feria*, *Albuhera de San Jorge*, *Albuhera de Casabaya*, *Castellar* o *La Greña*, sino también a las más pequeñas como las de la *Charca de García*, *Arroyo de la Luz*, *Barrueco de Arriba* o *Barrueco de Abajo*, por citar tan solo algunas (figs. 8 y 9).

El noble vasco Pedro B. Villarreal de Bérriz (1669–1740) fue un empresario, intelectual y gran entusiasta de la técnica y de la tecnología. Sus estudios acerca de presas y todo tipo de máquinas hidráulicas —molinos, ferrerías, norias, etc— le permitie-

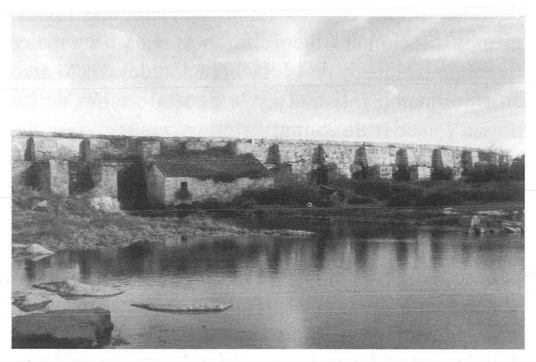

Figura 8


Figura 9

ron escribir uno de los primeros libros de España sobre estas materias: «Máquinas Hidráulicas de Molinos y Herrerías y Govierno de los Árboles y Montes de Vizcaya (1736)», en el que dedica los dos primeros capítulos del Libro Primero a las presas y azudes. Su principal aportación en el campo de las presas la desarrolla en el capítulo segundo, dedicado a las presas de arcos y contrafuertes, constituyendo una verdadera novedad en el ámbito mundial.

En el aspecto práctico son de destacar la serie de relaciones empíricas y reglas que se adjuntan en el libro, que le convirtieron en un manual de construcción de fácil aplicación. Este «manual» fue consecuencia de sus estudios y observaciones en otras presas y de la experiencia conseguida en una serie de realizaciones que él mismo construyó y que afortunadamente han llegado a nuestros días en bastante buen estado: las presas de *Bedia*, *Laisota*, *Arencibia*, *Ansótegui* e *Ibarreta*, a las que hay que sumar otra construida según sus principios en la cercana *Liérganes* (fig. 10).



Figura 10

Además de estos tres grupos de presas, otros grupos son de resaltar: las construidas por monarcas con fines de ocio y recreo en las proximidades de algunos recintos palaciegos, los azudes de derivación en ríos importantes con fines de navegación o regadío o algunas presas aisladas de relevancia.

La presa de Ontígola, las de *la Casa de Campo* de Madrid y las de *La Granjilla* en El Escorial forman parte de un grupo cuyas características comunes son su similitud tipológica inicial, los diseñadores y constructores, y formar parte de la «inquietud» de Felipe II por la hidráulica y por las zonas de recreo palaciego. Este monarca, siendo todavía príncipe, ordenó la construcción de la presa de *Ontigola* con el fin de facilitar el asentamiento de aves en sus alrededores, asegurando así la caza durante sus estancias en el Real Sitio de Aranjuez, situado a unos tres kilómetros de distancia. Durante los siglos XVII y XVIII se utilizó para la organización de festejos y cacerías y para el riego de los jardines del Real Sitio.

En las proximidades de El Escorial se terminó en 1560 la presa de *Granjilla II* con el fin de crear un estanque en las proximidades de un convento e iglesia para poder suministrar agua a fuentes y jardines, siendo además utilizado para su recreo por Felipe II en sus viajes de supervisión durante la construcción del Monasterio. En el centro del estanque se construyó un cenador al que se accedía mediante una pasarela construida con losas, que se utilizaba además como puesto de caza. Un siglo después se terminó la presa de *Granjilla I*, situada inmediatamente aguas arriba de la anterior, que también cuenta con una pequeña isla a la que se accede mediante una «península» artificial. Estas dos presas son las principales de un conjunto de cinco, dedicada todas ellas al ocio y recreo.

En estos siglos proliferan los azudes de derivación con diversos fines, destacando los de *Valdajos* y el *Embocador* en el Tajo y que derivaban agua a las fértiles vegas de Aranjuez, los de *Carlos V* y *Pignatelli*, que derivaban agua del Ebro para el Canal Imperial de Aragón, el de la *Casa de la Moneda* en Segovia, construido con fines industriales o el de *San Andrés*, que permite el cruce a nivel del Pisuerga y el Canal de Castilla, por citar sólo algunos de los muy numerosos que pueblan nuestra geografía.

Otras presas son dignas de mención de entre las muchas construidas en estos siglos. La presa del *Gasco* se ubica en el angosto y largo cañón del Guadarrama en las cercanías de la ciudad de Las Rozas. Se empezó a construir en los últimos años del siglo XVIII y era pieza fundamental del utópico proyecto de unir mediante un canal navegable Madrid y Sevilla, para el que debía regular los caudales. La utopía del canal se plasmó también en el proyecto de la presa, que debía tener una altura máxima de 93 metros, si bien cuando se había alcanzado la altura de 54 metros tuvo una rotura en su parte superior, lo que hizo que se paralizase su construcción para revisar el proyecto y que finalmente fue el detonante para la paralización total del proyecto (fig. 11).

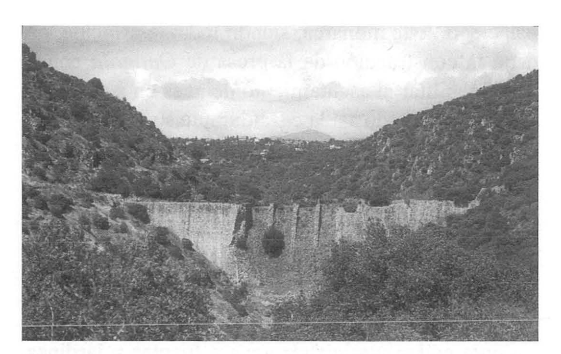


Figura 11

La rotura de la presa del *Gasco* fue, no obstante, positiva en varios aspectos. Además de paralizar un proyecto que no hubiese representado más que el entierro de una buena parte de la economía nacional, desde un punto de vista de la ingeniería significó el abandono definitivo de una tipología que se mostró como no adecuada. Por motivos similares son interesantes la presas de *Puentes* I y de *Mezalocha*, cuyas fallos de cimentación supusieron su rápido abandono. Todas estas roturas de presas no deben sin embargo considerarse como fracasos en el sentido actual. Históricamente la construcción de presas y azudes fue evolucionando por un proceso de «experiencia exclusiva» hasta la aparición de la Mecánica Racional a finales ya del siglo XIX: las soluciones que no fallaban se volvían a emplear mejoradas, las que daban problemas no se volvían a utilizar.

Las últimas presas «intuitivas» y las primeras presas racionales

Los ambiciosos y utópicos proyectos «ilustrados» de la segunda mitad del siglo XVIII —plasmados sobre todo en los grandes canales de navegación y de regadío— alternaron los aciertos con graves errores, consecuencia éstos no solo de una excesiva amplitud de miras y una deficiente planificación, sino también del desfase entre la magnitud de los proyectos y los conocimientos técnicos. De esta opinión era Agustín de Betancourt, quien afirmaba que en la construcción de obras civiles en general y de canales en particular se había malgastado mucho dinero por impericia y que, en consecuencia, era necesario aumentar los conocimientos. Estas consideraciones estuvieron en el origen de la creación de la Escuela de Caminos y Canales en noviembre de 1802, que tras diversos cierres y reaperturas empezó a funcionar regularmente en 1835, y que cumplió un importante papel en la segunda mitad del siglo XIX permitiendo que a finales del siglo España contase con ingenieros de alta cualificación, lo que repercutió de forma directa en la calidad de los proyectos y obras.

La segunda mitad del siglo XIX contempló un cierto auge de los proyectos hidráulicos debido a un repunte económico, a la promulgación de ciertas normas y leyes y a la «necesidad» de este tipo de obras. Desde el punto de vista de la Ingeniería de Presas se producen en España en este periodo dos hechos determinantes: por un lado la rotura en 1802 de la presa de *Puentes II*, que supuso una fuerte conmoción en el ámbito civil y en el de los técnicos en materia hidráulica y favoreció la «revolución de la técnica hidráulica» de las primeras décadas del siglo XIX, y por otro lado la aplicación de los principios de la Mecánica Racional al proyecto de las presas en las tres últimas décadas del siglo XIX, en pocas pero muy significativas realizaciones, facilitando así el desarrollo de las bases científicas y técnicas que hicieron posible el gran auge en la construcción de las presas a partir de las primeras décadas del siglo XX.

A finales del siglo XVIII se construyen las presas de *Puentes II* y *Valdeinfierno*, con el fin de satisfacer las demandas históricas de regulación de agua para los ya entonces extensos e importantes regadíos de Lorca. La regulación del río Luchena mediante dos embalses gestionados de forma conjunta, el diseño del cuerpo de presa, aliviaderos y desagües y otras soluciones técnicas se cuidaron al máximo, lográndose una importante mejora sobre las realizaciones anteriores. Es de resaltar que entre ambos se consiguió un conjunto de regulación hiperanual, anterior al considerado primero y pionero del embalse del Ebro, al norte de la provincia de Burgos (fig. 12).

Pese a ello, poco después de la conclusión de la presa de *Puentes II*, de 50 metros de altura, y cuando el embalse se encontraba muy próximo a su máxima cota se produjo el colapso de la cimentación en la zona del cauce, que llevó a la rotura y apertura de un gran boquete en la parte baja central de la presa. La rotura de la presa supuso un fuerte impacto en la sociedad lorquina y murciana, en la Corte y en los técnicos y constructores e influyó ya de forma definitiva en la creación de la Escuela de Caminos.

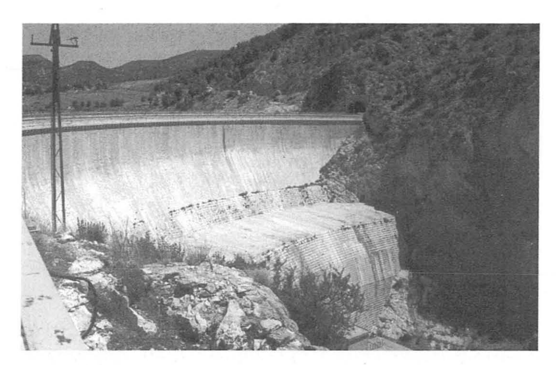


Figura 12

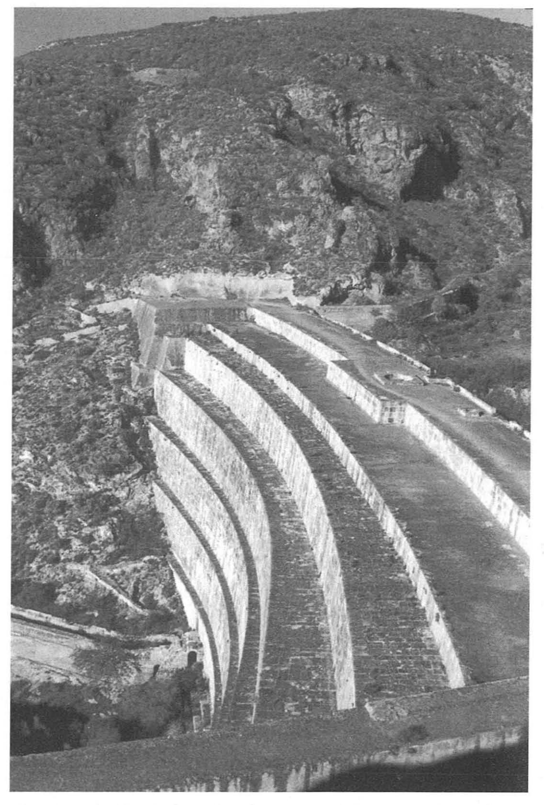


Figura 13

Los lorquinos y murcianos no desfallecieron y aunque hubieron de esperar casi otro siglo, a finales del siglo XIX vieron satisfechas sus aspiraciones de más de tres siglos con la construcción de la presa de *Puentes III*, que venía a complementar y completar la regulación conseguida en la presa de *Valdeinfierno*. Esta presa de *Puentes III*, una de las primeras construidas de acuerdo con los principios de la Mecánica Racional, ha estado en funcionamiento hasta hace algo menos de una década, cuando el recrecido necesario para garantizar los regadíos de la zona ha hecho que se construyese la presa de Puentes IV, en la que la solución final no ha sido la más económica posible sino la que ha respetado de forma casi total una obra considerada seña de identidad del pueblo murciano en general y del lorquino en particular.

Se produce de esta forma un hecho posiblemente sin precedentes en la historia de las presas en el mundo: la construcción en el plazo de doscientos cincuenta años de cuatro presas en un mismo emplazamiento con una compleja funcionalidad y en un «entorno» de extremada dureza, una geología adversa, un fuerte proceso de erosión en la cuenca y una hidrología extrema. En estas presas se refleja la lucha que los habitantes de la zona han mantenido con el medio a lo largo de la historia.

Otras presas de regadío se construyen en este periodo de transición que transcurre a lo largo del siglo XIX. Entre ellas, destacan la presa de *Níjar*, de gran belleza tanto de formas como de fábrica, como representante de las de cierta magnitud, la de *Escuriza*, representante de las de magnitud media y ejecutada con medios modestos y las de *Viejo del Angel* y *Nuevo del Angel*, más modestas todavía pero igualmente bellas en su simplicidad de formas y en el encaje en el medio físico (fig. 13).

La segunda mitad del siglo XIX se caracteriza por un auge en la modernización, ampliación o nueva construcción de abastecimiento a poblaciones que empezaban a tener un fuerte aumento demográfico. No fue habitual la construcción de presas con este fin, pese a lo cual el más importante de todos por su magnitud, el de Madrid con el recién constituido Canal de Isabel II, tuvo que recurrir a estas soluciones. Así se construyen las presas de *Pontón de la Oliva* y *El Villar*, la primera en 1857 y la segunda en 1882, la primera exponente de las últimas presas «intuitivas» y la segunda de las que empezaban a aplicar fundamentos científicos y técnicos en su diseño y proyecto. Cada una con una tipología, fábrica y soluciones constructivas, son claros ejemplos del esmero y cuidado con que los ingenieros de la época, no sólo los de obras hidráulicas, afrontaban todos sus proyectos (figs. 14 y 15).

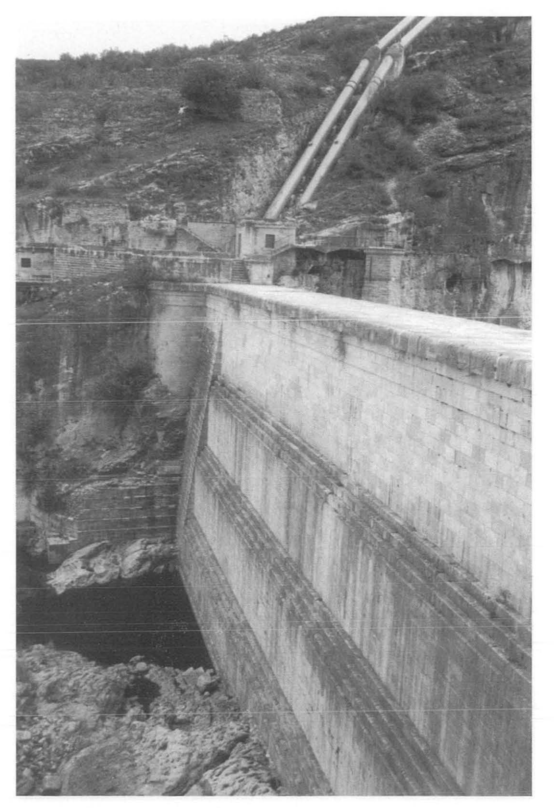


Figura 14



Figura 15

El desarrollo industrial, todavía incipiente a finales del siglo XIX, también requirió en algunos casos la construcción de presas como solución a las necesidades de agua, tanto para los propios procesos industriales como para el abastecimiento de las nuevas colonias de trabajadores e ingenieros. Es el caso de la presa del *Regato*, en Vizcaya, y, sobre todo, de los complejos mineros de la provincia de Huelva, entre los que destacan los de Tharsis y RíoTinto, en los que en las dos últimas décadas del siglo XIX y dos primeras del XX se construyen un buen número de presas, algunas de ellas de gran belleza y encajadas perfectamente en los distintos y todos ellos interesantes paisajes del centro y norte de la provincia. Las presas de *Tumbanales*, *Calabazal*, *Lagunazo* o los azudes sobre el *Tinto* y el *Odiel* son claro ejemplo de ello (figs. 16 y 17).

No sólo estas nuevas actividades requirieron la construcción de presas. En las zonas de Extremadura, Andalucía y, en menor medida, Castilla, las actividades agrícolas y ganaderas siguieron haciendo necesarias la construcción de pequeñas balsas, lo que dio lugar a presas de pequeño tamaño. Las presas de *Mata de Alcántara* o *Ribera de Mula*, por citar alguna de las más singulares tipológicamente, son ejemplos bien representativos.

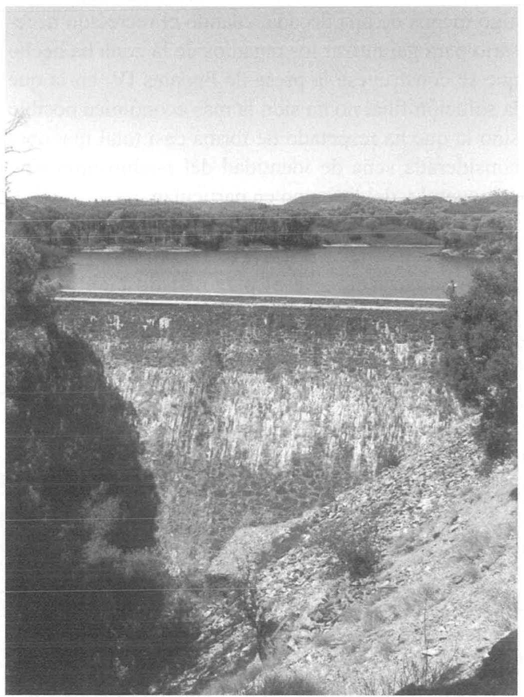


Figura 16

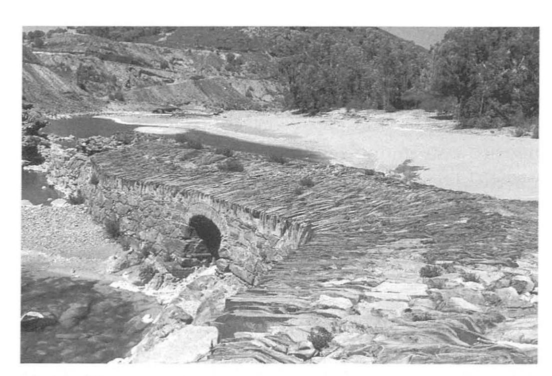


Figura 17

Las presas del siglo XX

El comienzo del siglo XX se caracteriza, a los efectos que aquí interesan, por un importante crecimiento demográfico, por la imperiosa necesidad de impulsar la agricultura para hacer frente a dicho aumento y salir del subdesarrollo generalizado y hambruna que todavía asolaba diferentes zonas y por el desarrollo de la energía eléctrica, base de cualquier desarrollo industrial, imprescindible para que España abandonase definitivamente épocas anteriores y afrontase el reto de incorporarse o acercarse a los países de su entorno geográfico y cultural.

El regeneracionismo impulsa las distintas planificaciones sectoriales, entre las que la hidráulica figura con nombre propio, y ello tanto en la primera década, como durante la dictadura de Primo de Rivera, durante la República o en la dictadura franquista. Y dentro de esta planificación y condicionada fuertemente por las condiciones climatológicas, topográficas, geológicas, edafológicas y de estructura de la población, las presas se han configurado como un elemento imprescindible hasta nuestros días.

La generación de energía eléctrica, que inicialmente se producía en centrales térmicas, paulatinamente se va complementando con la construcción de saltos hidroeléctricos, que necesitan bien azudes de derivación, bien presas de embalse. Surgen así en las primeras décadas los primeros grandes proyectos, como los de Saltos del Duero o los del Noguera Ribagorzana que darán lugar a lo largo de las siguientes décadas a presas tan importantes y significativas como las *Talarn*, *Camarasa* o *Ricobayo*. También se construyen saltos aislados que dan lugar a presas tan significativas como las de *Montejaque*, *Alloz*, *Conde Guadalhorce*, *Gaitanejo*, o saltos de menor magnitud y que incluyen presas como las de *Urdiceto*, *Plandescún* y otras ubicadas en zonas de alta montaña (fig. 18).

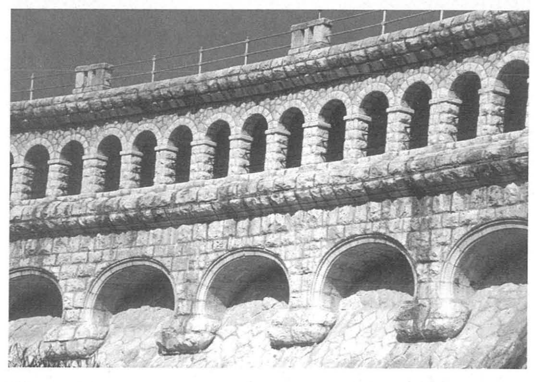


Figura 18

Característica común a buena parte de ellas es la alta calidad de ejecución, a la que hay que añadir la belleza de sus fábricas de sillería y mampostería utilizada, los detalles ornamentales característicos de la época y la perfecta integración en el paisaje, incluso en los roquedos de alta montaña al utilizarse la misma roca para su construcción y en especial en paramentos.

El mayor número de presas de las primeras décadas se construye con fines de regadío, al amparo de las políticas inspiradas en el ideario de Joaquín Costa y que fueron aceptadas, asumidas e impulsadas por regímenes y sistemas de ideología bien diferentes y en las que las Confederaciones Hidrográficas tuvieron un papel decisivo. El citar presas significativas en este grupo se revela como una difícil misión, sea cual sea el parámetro de análisis, por el elevado número de ejemplos que merecerían incluirse (fig. 19).

Tras la guerra civil el incremento en el número de presas construidas fue notable, proceso por reciente más conocido, que no mejor conocido, y desde luego poco valorado actualmente en sus implicaciones económicas, sociales y territoriales, y tampoco en cuestiones como las de patrimonio o las estéticas.

En los últimos años se observa una muy importante disminución en la construcción de presas y ello por motivos diversos, entre los que pueden citarse un ma-

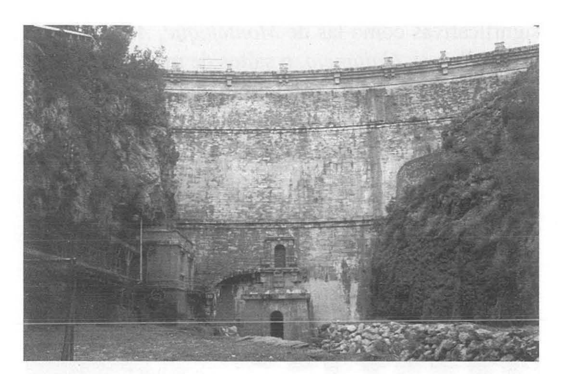


Figura 19

yor aprovechamiento de recursos subterráneos y sobre todo una mejora en la utilización conjunta aguas superficiales-aguas subterráneas, los conocimientos y tecnología suficientes para la reutilización de aguas —en aquellas zonas donde es posible— y el aumento de la desalación —también en aquellas zonas donde es posible-. No obstante el mantenimiento, rehabilitación y adaptación de la seguridad a los requisitos exigidos por la sociedad, así como las adaptaciones funcionales, hace que la Ingeniería de Presas, en contra de la creencia profana, tenga un buen futuro.

Epílogo

El patrimonio de las presas históricas españolas es, pues, muy importante, tanto en cantidad como en interés arqueológico, histórico y cultural. Las presas históricas españolas no solo han sido testigos, sino participantes en nuestra Historia. Sin ellas resulta difícil imaginar qué hubiese sido de Emerita Augusta o de las numerosas villae romanas, de los regadíos murcianos, de los innumerables molinos y aceñas que han poblado nuestra geografía, del campo extremeño o de muchas otras ciudades o actividades en los que las presas y azudes han sido soporte, unas veces básicos y otros complementarios, pero siempre necesarios. La realidad actual es como es, y sin las presas hubiese sido otra cosa, evidentemente muy distinta.

No parece lógica pues la actual situación en la que se encuentran la mayoría de las presas históricas españolas, en general en ruinas y desconocidas no solo de la población en general sino ni siquiera de historiadores, arqueólogos o ingenieros. Se da la paradoja que en algunos casos las presas y azudes que estuvieron en el origen de actividades o núcleos se encuentren a escasos metros de otro tipo de elementos de nuestro patrimonio muy conocidos y que sin embargo ni siquiera un cartel indique su existencia y su importancia histórica y cultural, cuando sin ellas éstos ni siquiera se hubiesen construido. Es necesario pues realizar un esfuerzo para dar a conocer este importante y muy interesante patrimonio.

Pero no solo las presas de cierta antigüedad son las que deben considerarse históricas. La contemporánea también es Historia. Y un buen número de presas construidas a lo largo del siglo XX pueden y deben tener tal consideración y ello por muy diversos motivos, al margen de los sociales y económicos. Algunas están reconocidas a nivel internacional y aparecen en manuales no sólo de ingeniería, sino de arte o patrimonio, en igualdad de condiciones con edificios o patrimonio industrial. Resulta paradójico que en España se conozcan y reconozcan menos que en muchos otros países (fig. 20).

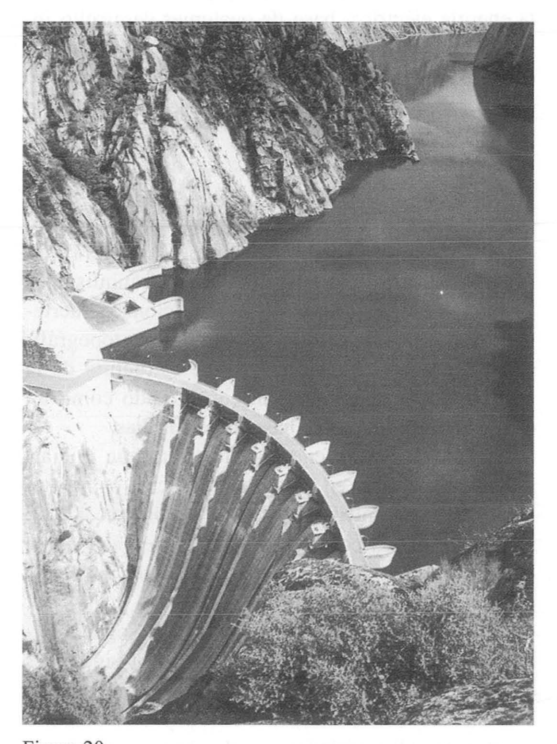


Figura 20

España no tiene el mismo régimen natural que los países del centro y norte de Europa y para conseguir el mismo grado de aprovechamiento del agua que ellos tienen de forma natural aquí hemos tenido que construir un elevado número de presas y azudes, de la misma forma que para tener niveles de comunicación similares hay que construir más puentes o más túneles por las características físicas de nuestro territorio. En resumen las presas y azudes han configurado nuestro territorio, nuestros asentamientos y las actividades comerciales a lo largo de toda nuestra historia. Y lo siguen haciendo y deberán seguir haciéndolo en un futuro.

Y eso lo entendieron los romanos, los árabes, los reinos cristianos, las monarquías, el Regeneracionismo, la República y las dictaduras. Bien es verdad que la situación actual es diferente y que no deben compararse épocas en términos absolutos, pero no valorar lo que tenemos y lo que eso ha significado es no ver la realidad.

Valoremos pues lo que tenemos y lo que a lo largo de veinte siglos hemos hecho, pues está en la base de nuestro nivel de vida y nuestro bienestar. Y esa valoración posiblemente sea el primer y más importante paso en la necesaria divulgación, conservación y rehabilitación —cuando proceda— general de una parte muy importante y no conocida de nuestro patrimonio histórico y cultural.

Lista de referencias

Bueno Hernández, Francisco (ed.). 2002. *Actas del I Congreso Nacional de Historia de las Presas*. Badajoz: Diputación de Badajoz y Seprem.

Bueno Hernández, Francisco. 2003. «Reflexiones acerca de la necesidad y criterios de intervención en presas históricas». *Revista Ingeniería y Territorio. Colegio de Ingenieros de Caminos*. 2003.

Bueno Hernández, Francisco y Saldaña Arce, Diego. 2005. *Actas del II Congreso Nacional de Historia de las Presas*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Seprem.

Bueno Hernández, F., J. Díez-Cascón Sagrado y D. Saldaña Arce. 2006. *Medieval dams in Spain*. (en prensa).

Bueno Hernández, Francisco y Díez-Cascón Sagrado, Joaquín. 2007. *Dams, land and society in Spain up until 1900*. (en prensa)

Díez-Cascón Sagrado, Joaquín y Bueno Hernández, Francisco. 2001. *Ingeniería de Presas. Presas de Fábrica*. Universidad de Cantabria.

Díez-Cascón Sagrado, Joaquín y Bueno Hernández, Francisco. 2003. *Las presas y embalses en España. Historia de una necesidad. I. Hasta 1900*. Ministerio de Medio Ambiente.

Díez-Cascón Sagrado, J., F. Bueno Hernández y D. Saldaña Arce. 2006. *Roman dams in Spain. A proposal typological classification*. 2006. (en prensa)

Díez-Cascón Sagrado, J. y F. Bueno Hernández. 2007. *Masonry dams in the 19th century*. (en prensa)

Schnitter, Nicholas. 2000. *Historia de las Presas. Las pirámides útiles*. (Traducción de J. Díez-Cascón Sagrado y F. Bueno Hernández). Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Los puentes de hormigón en masa en Alemania entre 1880 y 1918

Dirk Bühler

Este artículo sintetiza las ideas para una investigación mayor sobre la historia de los puentes de hormigón entre 1880 y 1940 en Alemania que estoy realizando en el Deutsches Museum. La investigación toma como punto de partida los objetos vinculados al hormigón que forman parte de la colección del área de arquitectura y construcción del museo. Aquí se presenta un esbozo de la primera parte del estudio que se refiere a los puentes de hormigón en masa, una segunda parte pronto enfocará los puentes de hormigón armado y pretensado.

Introducción de los conglomerantes hidráulicos artificiales en Alemania

En la época romana, el medioevo y los principios de la edad moderna se usaban los conglomerantes hidráulicos que se encontraban cercanos a las obras donde se empleaban. Las cantidades extraídas eran relativamente pequeñas y se usaban solamente para aplicaciones muy precisas. En el ámbito de lo que hoy es Alemania se usó con preferencia la piedra de trass (piedra toba molida) que se encontró en las regiones volcánicas, por ejemplo de la Eifel (Haegermann 1964, 27–99).

La época de la fabricación industrial de cemento se inicia en 1796 con la primera patente que obtiene James Parker en Inglaterra para el así llamado «Roman cement». En seguida Parker abre su primera fábrica entre 1796 en 1799 en Londres. Edgar Dobbs (patente para una cal hidraúlica en 1810) en Inglaterra y Louis Joseph Vicat (1786–1861) en Francia siguen desarrollando el concepto de producir el cemento industrialmente hasta que John Aspdin (1779–1855) con su patente para el cemento Portland de 1824 logra una manera económica y eficaz para producirlo con una resistencia insuperable.

En Munich la primera fábrica de Roman cement abre en 1832. Cerca de Ulm sigue la fundación de una pequeña fábrica en 1838. Hasta el año de 1845 se expanden rápidamente las fábricas de Roman cement en Baviera. En 1847 la empresa de cal Schenk en Ulm funda una productora de Roman cement que mas tarde se desarrollará como abastecedora principal de cemento para el Sur de Alemania. No obstante, la producción es todavía muy reducida y el precio del producto demasiado alto para un uso generalizado en la construcción. Las caleras más grandes de Alemania se encontraban en Rüdersdorf cerca de Berlín donde se extrae desde el siglo XVI piedra caliza de cantería para la construcción de la capital prusiana. Es a partir del año 1836 cuando se inicia la producción de cales hidráulicas (Straub 1992, 269).

Aspdin, haciendo uso de su patente, abre en 1825 su primera fábrica de cemento con la calidad Portland en Inglaterra, y para el año 1852 industrializado completamente la producción de cemento Portland en el Reino Unido. Las fábricas productoras de éste tipo de cemento se expanden en el continente primero por Francia, donde en 1840 se instala la primera en Boulogne. A partir de 1861 la publicación del li-

bro de Francois Coignet (1814–1888): *El hormigón y el arte de fabricarlo* brinda una promoción inestimable al cemento cuyo uso se extiende más rápido a partir de esta fecha.

En Alemania se inicia la producción de cemento Portland en el año de 1855 en la fábrica de Züllchow cerca de Stettin, mientras que la producción de cemento Portland en Rüdersdorf se inicia relativamente tarde, en el año 1884. Casi veinte años antes, en 1865 Wilhelm Gustav (1805–1894) y Eugen Dyckerhoff (1844–1924) habían abierto su fábrica para producir cemento Portland en Amöneburg cerca de Maguncia. Esta empresa forma la base para el establecimiento de la Dyckerhoff und Widmann AG, una constructora que tuvo una enorme importancia para el desarrollo de la tecnología del hormigón en Alemania con ingenieros tan famosos como Franz Dischinger (1887–1953) y Ulrich Finsterwalder (1897–1988) (Dyckerhoff Chronik 1939).

La dinámica del desarrollo en aquellos tiempos queda demostrada por estadísticas como ésta: la producción de cemento en Alemania subió entre 1891 y 1904 de 1.836 millones a 3.961 milliones de toneladas, más del doble, y en 1913 ya son 6.868 millones de toneladas. Mientras que en el mismo período el precio bajó de 35,24 marcos a 23,82 marcos alemanes por tonelada (Ehrke 1933, 254).

ÉPOCA DE TRANSICIÓN: PUENTES DE PIEDRA Y PUENTES DE HORMIGÓN

Entre los años 1880 hasta aproximadamente 1914 las construcciones de puentes viven una época de transición paulatina donde, poco a poco, se sustituye la piedra por el hormigón. En el primer paso esta transición prácticamente no se nota en el edificio terminado ya que la estructura se escondía detrás de un revestimiento de piedra labrada en algún estilo arquitectónico de la época. Las crónicas de las empresas productoras de cal y cemento y de las constructoras documentan los pasos de la introducción del hormigón (todavía en masa) en la construcción de puentes. Ya sean los anales de la constructora Kunz de Kempten en el sur de Alemania o de la Dyckerhoff & Widmann, todos muestran el empleo del hormigón primero en las cimentaciones, luego como material de relleno en construcciones de piedra y finalmente el empleo del nuevo material para las partes estructurales del puente, dejando la piedra labrada como mero elemento decorativo. Uno de éstos documentos es la *Erinnerung an Ehingen* (Memoria de Ehingen) editado por la empresa extractora de cal con el mismo nombre como repaso impreso de una excursión de verano para un grupo de productores de materiales de construcción en el sur de Alemania.

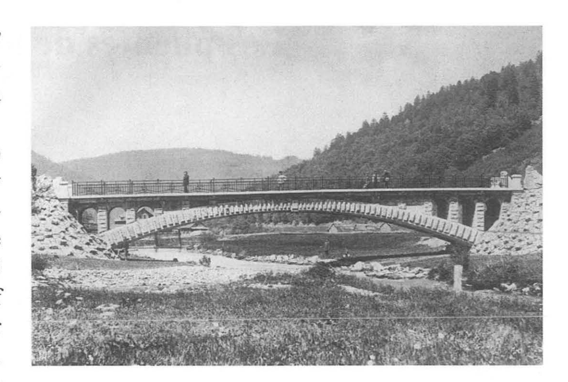


Figura 1
Fotografía del puente de piedra sobre el río Enz cerca de Höfen 1885. (Erinnerung an Ehingen 1899)

La presentación de ejemplos se inicia en este libro con la fotografía del puente de piedra sobre el río Enz cerca de Höfen (fig. 1), construido en 1885 sobre una cimentación de hormigón. El arco del puente constituye la primera bóveda con un arco triarticulado.

Esta tecnología del arco triarticulado fue propuesta por el ingeniero Köpke en Dresden en 1880 para ser usada en las estructuras de piedra con el fin de facilitar a los ingenieros un cálculo práctico sin muchas incógnitas. Este sistema de articulaciones además disponía de juntas de expansión que permitieron movimientos sin que la estructura se agrietara. Estas juntas además y al mismo tiempo simplificaron el proceso constructivo. A partir de los años 1880 ésta forma de arco triarticulado prolifera en todas las construcciones de puentes y explica el hecho de que en Alemania los ingenieros tardaron mas que en otros países en emplear extensivamente el hormigón armado, ya que existía una manera sencilla de calcular y construir estructuras de arcos esbeltos y de —para entonces— grandes luces. Prueba de esto es el puente del Syratal en Plauen (Sajonia) que se construyó todavía entre los años de 1903 y 1904,

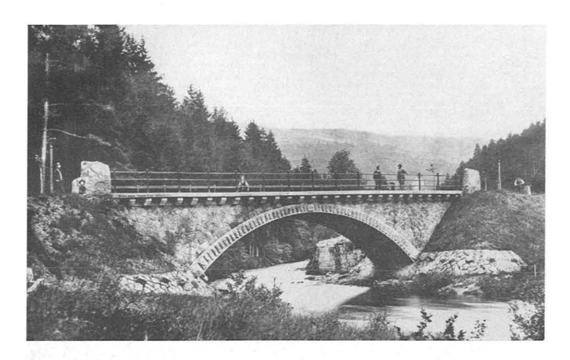


Figura 2
Fotografía del puente de piedra sobre el río Enz cerca de Wildbad, 1886 (Erinnerung an Ehingen 1899)

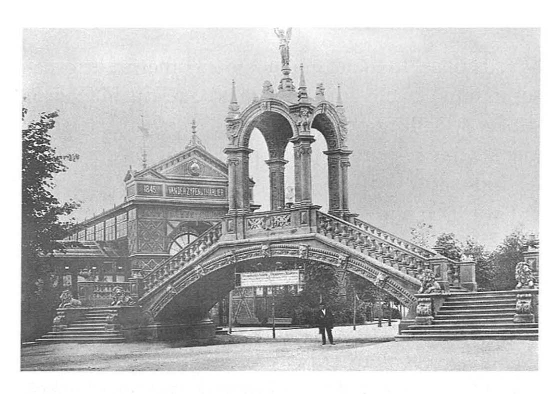


Figura 3
Fotografía del puente en la Feria de Artes y Oficios de Dusseldorf, 1880 (Archivo fotográfico Deutsches Museum)

con 90 metros de luz, exclusivamente de mampostería (Bühler 2004, 32).

El próximo paso del desarrollo lo documenta el puente de piedra sobre el río Enz cerca de Wildbad, construido un año mas tarde en 1886 (fig. 2). La cimentación es de un hormigón que contiene —todo un experimento— una alta parte de piedra de cantería. La bóveda se construyó de piedra como estructura portante, mientras que el relleno es de hormigón.

Las posibilidades del nuevo material constructivo se demostraron en la Feria de Artes y Oficios del año de 1880 en Düsseldorf, donde la constructora Dyckerhoff & Widmann AG presentó por primera vez un puente con un arco circular reabajado hecho completamente de hormigón y con unos 12 metros de luz (fig. 3) (Dyckerhoff Chronik 1939). La idea no era tanto la de demostrar la utilidad del nuevo material para la construcción de puentes, sino para darle promoción a las escaleras prefabricadas y los vaciados en hormigón que se vendieron intensivamente además de los tubos de hormigón que se utilizaron para los desagües y alcantarillas de las ciudades que se inician en éstos años como medida para la higiene urbana (Bühler 2004, 36).

LA PROMOCIÓN DEL HORMIGÓN COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

El uso del hormigón en la construcción, sus ventajas y sus problemas son observados cuidadosamente por el público en general y la prensa. Las posibilidades y riesgos se comentan apasionadamente entre promotores y constructores, mientras que los productos y sus aplicaciones se promueven sobre todo a través de publicaciones para especialistas. Las posibilidades y la fiabilidad de las construcciones de hormigón logran rápidamente la mayor difusión posible por la edición de la «Cartilla Monier», editada en 1887 por Gustav-Adolf Wayss (1851–1917) con 10.000 ejemplares. El folleto llamado oficialmente *Das System Monier (Eisengerippe mit Zementumhüllung) in seiner Anwendung auf das gesamte Bauwesen* se redactó en base a pruebas de material en Berlín donde el socio de Wayss, el Ingeniero de caminos y puentes Matthias Koenen (1849–1924) contribuyó con las bases teóricas para la «cartilla Monier». Desde 1895 se publica también la revista *Cement und Beton*. A partir de 1901 Fritz von Emperger (1862–1942) edita la revista sumamente prestigiosa *Beton und Eisen*. Emperger asume en 1909 además la redacción del *Betonkalender* (Anales del Hormigón), cuya publicación se había iniciado en 1906. En estas publicaciones se comentan las obras más actuales sobre todo bajo aspectos técnicos, pero también se discuten problemas estéticos y se dan recomendaciones económicas. En los primeros años se nota también la búsqueda de aplicaciones nuevas para el cemento que aparentemente padece una sobreproducción. Estas propuestas llegan a ser bastante curiosas a veces, como la oferta de una empresa de fabricar ataúdes de hormigón armado (*Zement und Beton* N° 3 1905, 48)

Otro organismo para el fomento del hormigón era el Deutscher Betonverein (Asociación Alemana del Hormigón) que se había fundado en Berlín en el año de 1898 con 203 miembros personales e institucionales para promover el uso del hormigón a través de investigaciones, publicaciones y conferencias. Tuvo tanto éxito que en 1914 contaba ya con 826 miembros.

Pero el hormigón se promueve también en un museo de reciente fundación. El Deutsches Museum, fundado en el año de 1903, es uno de los primeros edificios grandes en Munich construidos enteramente de hormigón. Este hecho se debe a la iniciativa de su fundador, Oskar von Miller (1855–1934), un ingeniero civil apasionado quién para electrificar el ferrocarril de Baviera inició la construcción de presas en los ríos de Alemania del Sur con el apoyo de empresarios del cemento y de la construcción. Desde estos primeros días, pioneros para las nuevas técnicas de la construcción en hormigón, el museo colecciona objetos documentando el desarrollo de su tecnología. Así que en nuestras colecciones encontramos hoy en día muchos aparatos, maquinas, equipos y maquetas necesarios para producir el cemento y el hormigón, para examinar y verificar la calidad de los mismos, así como maquetas de los edificios que se construyeron con este material. Además guardamos en nuestra biblioteca un sinnúmero de publicaciones históricas (y desde luego también actuales) acerca del tema, muchas de ellas como originales únicos en el país.

El hormigón en masa

Las primeras aplicaciones que se le dieron al cemento producido industrialmente era su empleo en construcciones de hormigón en masa, una técnica conocida a través de las construcciones tradicionales de tierra apisonada en encofrados de madera, como el tapial.

El primer puente no experimental hecho de esta manera en Alemania (los antecedentes en Francia tienen unos diez años más) es el acueducto sobre el río Murg cerca de Karlsruhe (fig. 4) que se construyó de hormigón en masa en el año de 1885 y cuya maqueta se conserva en el Deutsches Museum. Este acueducto existe todavía y fue diseñado por el arquitecto Carl Müller de Freiburg/Breisgau. Abastece de agua a una fábrica de papel situada en medio de un bosque. La bóveda tiene 40 metros de luz y 1,31 metros de espesor mínimo en el vértice. Es un arco rebajado todavía sin las articulaciones que solían usarse ya frecuentemente en la construcción de puentes de piedra (Bühler 2004, 36).



Figura 4
Maqueta del Acueducto sobre el Río Murg, 1885 (Archivo fotográfico Deutsches Museum)

Para este año de 1885, cuando se construyó el acueducto, había en Alemania tan solo un puente de piedra o hormigón que tuviera más de 40 metros de luz. Estos datos estadísticos cambiarán rápidamente hasta el año de 1915 cuando ya se habían construido unos 40 puentes con arcos de piedra o hormigón con luces de entre 40 y 90 metros (Deinhard 1964, 13–119).

Volvemos a la memoria de Ehingen porque aquí sigue la demostración del desarrollo con la fotografía de un arco experimental de hormigón, ahora armado, en la fábrica de cemento de Esslingen en 1896 (fig. 5). El hormigón tiene una armadura de tres perfiles de hierro en «I» conectados por chapas de hierro como separadores/estabilizadores. Una medida que pareció necesaria porque la línea de empujes no coincide con la línea central de la bóveda. La fotografía representa tan solo uno de los muchos ensayos de carga que se emprendieron para averiguar el comportamiento y la resistencia del nuevo material de construcción.

Dos puentes más demuestran algunos años más tarde el uso del hormigón en masa. El primero es un puente sobre el río Neckar en Tübingen en 1896 (fig. 6) con una estructura de hormigón revestida de piedra labrada que no se distingue mucho de las construcciones anteriores, hechas completamente de

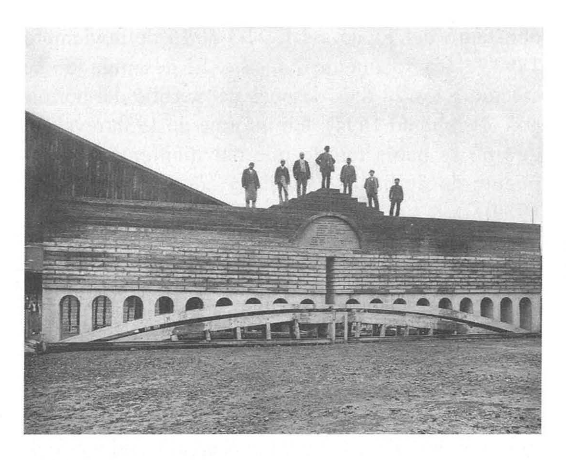


Figura 5
Fotografía del arco de ensayo en la fábrica de cemento en Esslingen, 1896 (Erinnerung an Ehingen 1899)

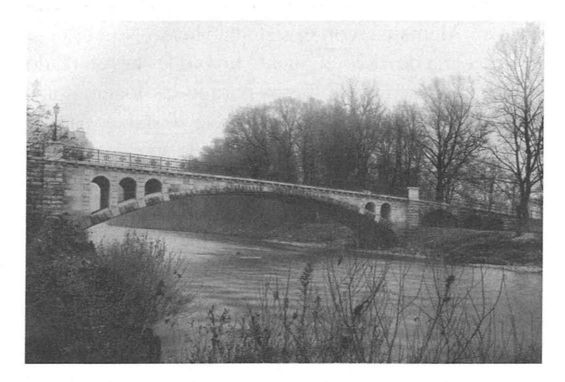


Figura 6
Fotografía del puente de hormigón en masa sobre el río Neckar en Tübingen, 1896 (Erinnerung an Ehingen 1899)

piedra. El segundo un puente de hormigón sobre el canal del Neckar cerca de Esslingen, construido en el mismo año de 1896 (fig. 7). Este último ya deja a la vista del observador el hormigón sin revestir y con un grupo de gente con una apisonadora encima que comprueba la solidez y fiabilidad del material. Para la construcción de esta bóveda los constructores experimentaron con diferentes tipos de grava y cascajos. La bóveda consiste en cuatro partes, cada una ejecutada separadamente. La cimentación se efectuó sobre pilotes de madera.

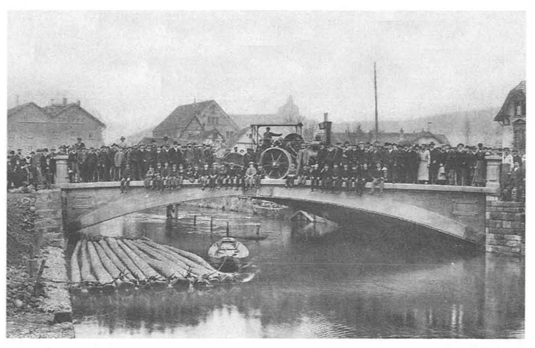


Figura 7
Fotografía del puente de hormigón en masa sobre el canal del Neckar cerca de Esslingen, 1896 (Erinnerung an Ehingen 1899)

Un puente ejemplar para éste período se construyó sobre el río Danubio cerca de Munderkingen en el año de 1893 (figs. 8 a 10). Es un arco con 50 metros de luz, hecho completamente de hormigón, pero revestido de piedras a la manera tradicional haciendo patente el estilo arquitectónico historicista. El puente se considera como el primero de grandes dimensiones en Alemania hecho de hormigón en masa. Se empleó el para entonces ya muy notorio arco triarticulado. Su construcción fue ampliamente comentada y publicada en 1894. El autor de la obra es Carl von Leibbrand (1839–1898), presidente de la administración de puentes y caminos de Stuttgart, un personaje todo innovador. El empleo del hormigón permite en este caso en paso con un solo arco: una gran ventaja frente a un puente de piedra, donde se necesitarían dos arcos para cruzar el río. Otro argumento que influyó en la decisión por el uso de hormigón fue la cercanía de las fábricas de cemento en Ehingen y Blaubeuren. Para averiguar la mejor mezcla de componentes se emprendieron en el año de 1892 ensayos previos de material en el laboratorio del Politécnico de Munich. La curvatura del arco también es el resultado de ensayos para averiguar la forma de la línea de empujes. Las articulaciones son de hierro. Las cimentaciones se construyeron directamente sobre la roca caliza en el lado derecho y sobre pilotes de madera del otro lado del río Danubio. Se usó una mezcladora de hormigón con «locomotora» (una máquina de vapor), el reparto del hormigón mezclado por el encofrado se realizó mediante un teleférico. La

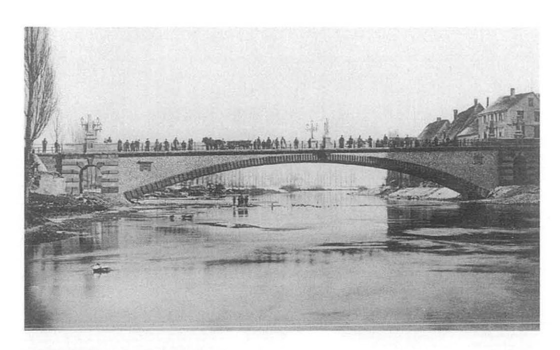


Figura 8
Fotografía del puente terminado de Munderkingen, 1893 (Archivo fotográfico Deutsches Museum)

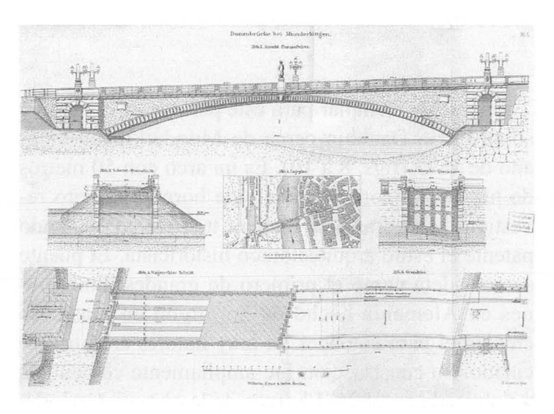


Figura 9
Plantas, secciones y alzados del puente de Munderkingen, 1894 (Leibbrand 1894)

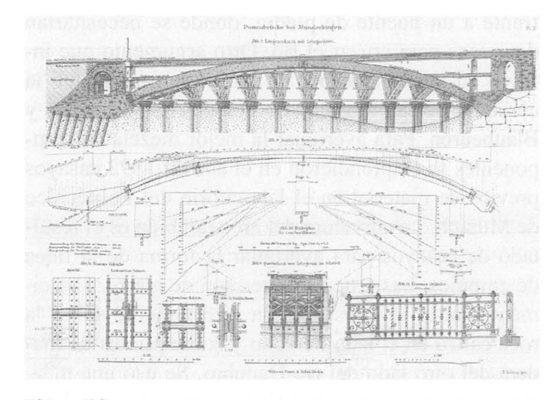


Figura 10
Detalles constructivos del puente de Munderkingen, 1894 (Leibbrand 1894)

obra duró del 11 de abril 1893 al 16 de noviembre 1893, o sea solamente 7 meses. El descimbrado se efectuó a los 28 dias después del vertido del hormigón (Leibbrand 1894). Un informe de 1938 revelaba que no se había tenido que dar mantenimiento al puente desde hacía «muchos» años (Schaechertle 1939).

El ejemplo mas patente de una construcción de hormigón en masa es la historia del puente sobre el barranco del río Iller cerca de Kempten en el sur del estado de Baviera puesto que contiene un sinnúmero de elementos documentales substanciales para la historia de la construcción.

El primer puente de ferrocarril en Kempten se erigió en el año de 1849 para el llamado Ludwig-Süd-Bahn que conectaba la capital de Munich con la ciudad fronteriza de Lindau en las orillas del lago de Constanza. El puente tuvo que cruzar el río Iller antes de que el ferrocarril llegara a la estación de Kempten. Es una construcción de madera, como muchas en Alemania, con el sistema Howe. No obstante ya en el año de 1879 el puente tuvo que ser reforzado con una estructura de hierro porque las locomotoras y trenes pesaban cada año más. No obstante, para el cambio del siglo el puente, a pesar de su refuerzo, resultaba insuficiente para las nuevas generaciones de trenes y tuvo que ser sustituido por completo por un puente con mayor capacidad de carga. Este primer puente existe todavía como pasarela peatonal.

Para el proyecto del nuevo paso de ferrocarril en 1903 hubo discusiones entre las partes implicadas sobre si el nuevo puente se debía construir de hierro o con el innovador material de construcción que era el hormigón. La ciudad de Kempten, aconsejada por empresarios e ingenieros, finalmente tomó la decisión de construirlo de hormigón, sobre todo por razón del menor mantenimiento posterior a la construcción.

La construcción de este puente se inicia en el año de 1904 y se termina en el de 1906. La obra fue un evento extraordinario y muy comentado por los constructores y el público interesado (Colberg/Luft 1906) (Colberg 1906) (Séjourné 1913). Desde luego el museo posee una maqueta del puente de manufactura posterior a la del original datando de los años 1960as.

La obra complacía a todos: Para los ingenieros los 64,5 metros de luz central del puente eran todo un reto, además de los 21, 6 y 20,6 metros de luces late-

rales, así como una altura de la estructura de 31,5 metros sobre el río. Para la fábrica de cemento «Dyckerhoff» era un negocio colosal tan solo por las cantidades inmensas de hormigón que se tenían que proporcionar. Pero también para la constructora Dyckerhoff & Widmann era una gran tarea, ya que sería el primer puente que construiría completamente de hormigón. En construcciones anteriores de puentes la empresa de construcción «Kunz», que se hizo socio de Dyckerhoff en esta obra, había empleado el hormigón tan solo en las cimentaciones y como material de relleno entre unos arcos y muros de cantería. Kunz además contribuía con su maquinaria como veremos mas tarde. Para la construcción de estos puentes con bóvedas triarticuladas se usaba ya el hormigón en masa pero fue precisamente en este puente sobre el río Iller cuando se usaba por primera vez el hormigón como material estructural en un puente de tan grandes dimensiones. Pero las innovaciones no se limitaban a esto: Otra novedad era el empleo de cimbras que se podían volver a usar, ya que todo el complejo para el cruce de ferrocarril de Kempten consistía en tres construcciones casi iguales. Interesantes aspectos de la construcción eran, además, el averiguar cuál de las gravas y de las arenas disponibles eran adecuadas para obtener una mezcla óptima del hormigón. El empleo de articulaciones de plomo —en vez de piedra o de hierro— incrustadas en un hormigón de mayor resistencia, era otro aspecto importante, aunque no exactamente innovador, porque ya había antecedentes, pero en este caso al menos se trataba de construir a la máxima altura de la técnica disponible. Las articulaciones laterales se construyeron tan solo con láminas de hierro sobre un hormigón también resistente. La cimbra y el armazón se quitaron seis semanas después del vertido y apisonado del hormigón (figs. 11 a 14).

Era bastante innovador el uso del hormigón en este puente y como consecuencia tenían aún más particularidades: Los ingenieros involucrados en la construcción veían con muchas reservas el empleo de un paramento final con una superficie de hormigón puro y visible porque temían discusiones públicas sobre la estética de este prometedor material de construcción. Debido a estos pensamientos se trataba de darle una apariencia mas tradicional y habitual de mampostería al puente, lo que se lograba a través de listones formados de madera introducidos al encofrado, dejando unas molduras que aparentaban juntas entre hiladas de piedra al quitar el encofrado. El acabado final fino se lograba por el uso de una mezcla de masa sin grava en los márgenes del encofrado quedando así el enfoscado elaborado a la vez que el mismo hormigón.

De estos tres puentes sobre el río Iller en Kempten, que se inauguraron en el año de 1906 con la presencia del Emperador Guillermo II, sólo uno se usa todavía para el ferrocarril, mientras que los otros dos se convirtieron en 1980 en puentes de carretera. En un primer artículo mío (Bühler 2003) sobre este puente se destacó la importancia de estos puentes para la historia de la construcción y como consecuencia fueron declarados monumentos por las autoridades del estado de Baviera.

Mientras que en el sur de Alemania se construyeron infinidad de puentes de hormigón, en la capital Berlín tan solo se construyeron unos pocos puentes con este material innovador, como por ejemplo el puente Stubenrauch en 1908 y el puente de Frohnau para el ferrocarril o mas tarde el puente de Lohmühlen en 1921. Este hecho se debe seguramente a la presencia abundante de hierro a precios más accesibles en Berlín que en otras áreas. El empleo del hormigón en Berlín, que es también abundante, se observa durante ésta época esencialmente a la construcción de edifícos.

Un campo experimental para la construcción de puentes de hormigón se ofreció más bien en la ciudad de Munich, que —como capital del Reino de Baviera— seguía creciendo rápidamente, compitiendo con la capital prusiana en cuanto a innovaciones tecnológicas y artísticas. La hora de esta innovación llegó cuando una avenida con una inundación posterior del río Isar destruyó en el año 1899 muchos de los puentes que cruzaban el río. Este evento hace necesaria una reforma completa de los puentes y se pudieron iniciar una serie de construcciones importantes para el desarrollo de los puentes de hormigón, todos en masa.

El primer puente de hormigón en Munich atraviesa el canal que lleva agua al jardín del cercano palacio real de Nymphenburg a la altura de la calle Gerner. Lo construyó en el año 1892 la constructora Aktien-Gesellschaft für Beton- und Monierbau, una empresa de Berlín que se tuvo que contratar por falta de empresas adecuadas en el propio lugar. Es un puente hecho en un estilo completamente historicista, que hace referencia al estilo barroco del palacio. El próximo puente en construirse de hormigón ya refleja la mo-

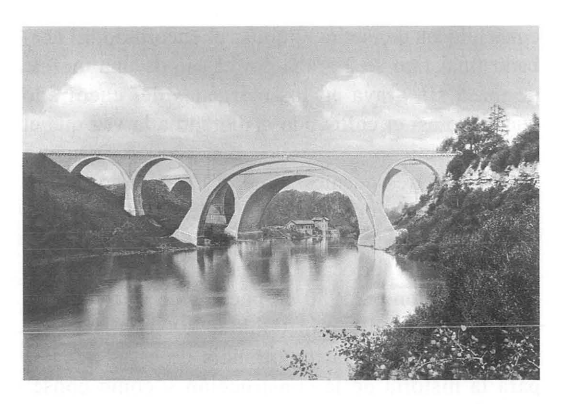


Figura 11
Fotografía del puente terminado de Kempten, 1906 (Archivo fotográfico Deutsches Museum)

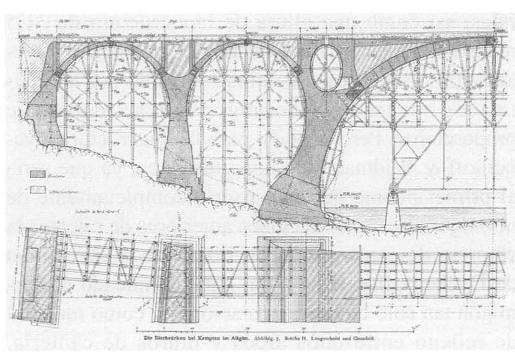


Figura 13
Proyecto de construcción con la cimbra (Archivo fotográfico Deutsches Museum)

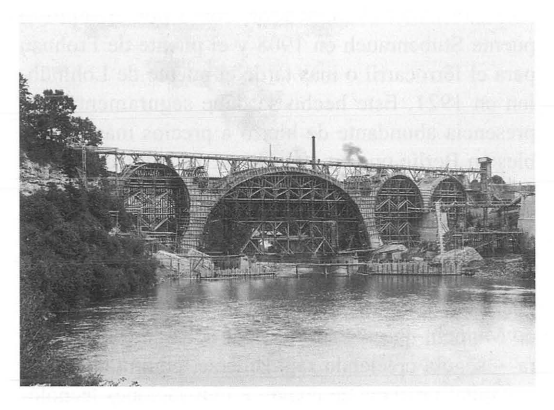


Figura 12
Fotografía del armazón del puente de Kempten con el humo subiendo de la máquina de vapor para la mezcladora, 14 de septiembre de 1904 (Archivo fotográfico Deutsches Museum)

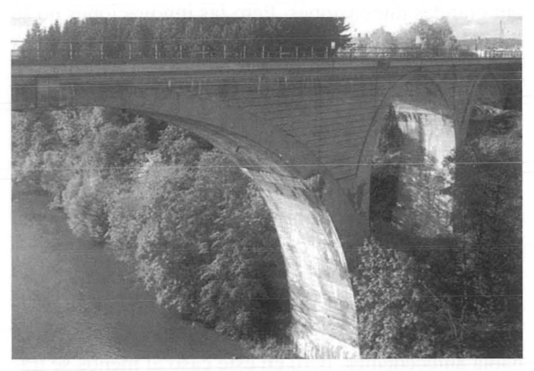


Figura 14
Fotografía actual del puente de Kempten (Fotografía del autor 2002)

dernidad y amenidad del estilo art nouveau: es el así llamado Kabelsteg (fig. 15) que se construye en 1898 para llevar los cables del Muffatwerk, una planta de energía térmica construida en 1893 hacia una planta de energía fluvial que aprovechaba el agua del río Isar ubicada al lado opuesto del río. Son dos arcos muy rebajados, apoyando un tablero esbelto de 55 centímetros de espesor, construido por la empresa Wayss & Freytag que para entonces ya tenía una sucursal en Munich.

Tras la avenida del río Isar y la siguiente inundación en 1899 el gobierno de la ciudad de Munich decide reconstruir prácticamente todos los puentes que cruzan el río Isar con la técnica innovadora del hormigón y en un mismo estilo arquitectónico. La parte artística queda a cargo de dos arquitectos destacados del politécnico de Munich: Friedrich von Thiersch (1852–1921) caterático de arquitectura y autor del famoso palacio de justicia de Munich y Theodor Fischer (1862–1938) también catedrático de arquitectura primero en Stuttgart y mas tarde en Munich, autor de obras importantes en ambas ciudades. Ellos se encargaron de la unidad de estilo arquitectónico que

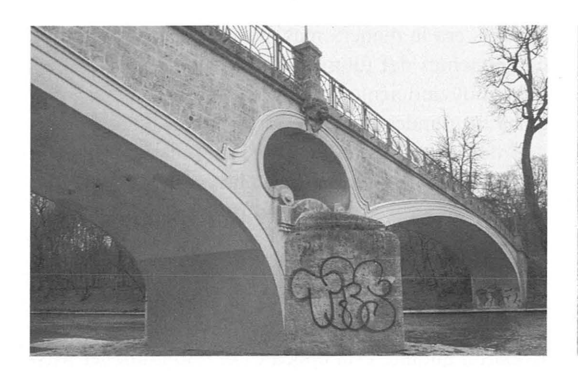


Figura 15
El Kabelsteg de Munich, 1898 (Fotografía del autor 2007)



Figura 17
Detalle del revestimiento con piedra caliza de conchas en el puente Reichenbach de Munich, 1903 (Fotografía del autor 2007)

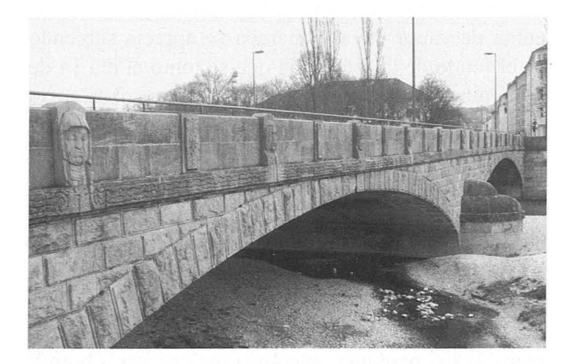


Figura 16
El Puente Cornelius de Munich, 1903 (Fotografía del autor 2007)

varía ligeramente, según la importancia y ubicación de cada puente.

El primer puente de estza serie es el llamado Luitpold en la Prinzregentenstrasse que se construye entre 1900 y 1901 por la empresa Sager & Woerner con una bóveda maciza de piedra caliza de conchas (Muschelkalk) de acuerdo a un diseño de la Agencia Real Superior de Construcción (Kgl. Oberste Baubehörde). Inmediatamente después sigue entre 1901 y 1902 la construcción del puente Max-Joseph, un arco de hormigón en masa, revestido de piedra caliza de conchas (Muschelkalk) de acuerdo al diseño de Theodor Fischer. Este puente, como todos los siguientes, también lo construyó la empresa Sager & Woerner originaria de Munich.

A Friedrich von Thiersch se le debe el diseño del puente Cornelius (fig. 16), construido entre 1901 y 1903 con dos arcos de hormigón en masa, revestidos de piedra de caliza de conchas, y el diseño del puente Reichenbach (fig. 17) entre 1902 y 1903 que se reforma de la misma manera por razones exclusivamente estéticas porque era el único puente que había sobrevivido la avenida sin mayores daños. Friedrich von Thiersch diseña además el puente Maximiliano (fig. 18 al 19) (construido entre1903 y 1905), mientras que el diseño del puente de los Wittelsbacher (construido entre 1904 y 1905) se le debe a Theodor Fischer.

Para la historia de la construcción, el puente de Cornelius es el más importante de ellos, porque durante el vertido y apisonado del hormigón se hundó la cimbra y el puente en construcción se derrumbó sobre el río. La búsqueda de razones tiene como resultado mas importante para los ingenieros la tan necesaria definición de normas para la elaboración y el uso del hormigón en masa: las «Leitsätze für die Verarbeitung, Ausführung und Prüfung von Bauten aus Stampfbeton» que fueron elaboradas por los ingenieros y las empresas miembros del Betonverein (Asociación del hormigón) y cuyo resultado se presentó en la reunión de la asociación en el año de 1905. El año siguiente a la reunión las normas aparecen publicadas en el primer Beton-Kalender de 1906 (*Taschenbuch für den Beton- und Eisenbetonbau*. Berlin 1905, III. Teil, p. 26–41). Así, este accidente benefició a las empresas constructoras de manera indirecta.

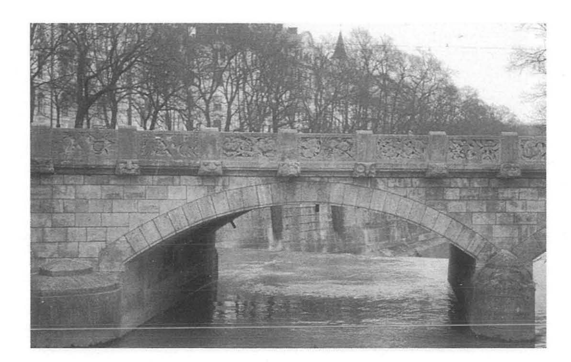


Figura 18
Puente de Maximiliano, parte izquierda, 1905 (Fotografía del autor 2007)

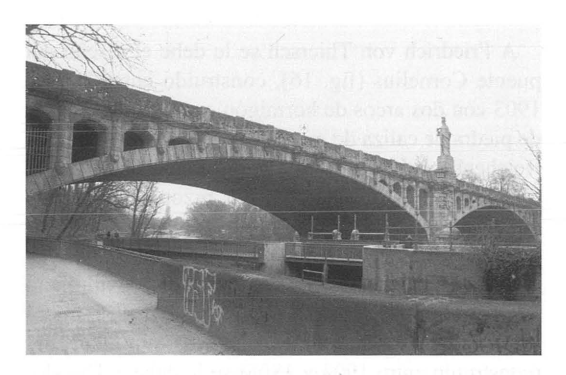


Figura 19
Puente de Maximiliano, parte derecha, 1905 (Fotografía del autor 2007)

Pero de acuerdo a la investigación posterior sobre las razones del hundimiento, la culpa no la tenía ni el hormigón ni los ingenieros y constructores, sino un carpintero irresponsable que usó madera de desperdicio para la cimbra, que había sido extraída y «reciclada» de una presa demolida poco antes.

La elaboración del hormigón

Aparte de las cuestiones más bien técnicas sobre los mejores yacimientos, la naturaleza física y química, así como la mejor mezcla entre las materias primas, había algunos problemas prácticos que superar. Una de ellas era la manera mas apropiada de mezclar los componentes del futuro hormigón porque pronto resultó muy deficiente la mezcla producida a mano con palas en grandes tinajas. Para mejorar la homogeneidad del resultado de la mezcla a partir de los año 1860 se usaron mezcladoras u hormigoneras por caída libre, a partir de 1870 hormigoners con tambores manuales hasta que finalmente a partir de 1900 se usaban hormigoneras que ya se parecen mucho a las actuales.

Una de las mezcladoras de hormigón que se desarrollaron durante esta época es el «Sonthofener Mischer» de 1887 (fig. 20). Es una hormigonera cuya maqueta, que data del año de 1905, se conserva también en el museo (fig. 21). Esta hormigonera fue arrastrada por caballos al sitio donde se necesitaba y se movía mediante una rueda y correa por una máquina de vapor cuya humareda se aprecia subiendo en el fondo de la fotografía que se tomó el día 14 de septiembre de 1904 (fig. 12) del puente sobre el río Iller, demostrando al espectador casual que el progreso técnico había llegado a la ciudad (Bühler 2003).

Este modelo de hormigonera se había desarrollado en base a las tradicionales lavadoras de grava. El dueño de la empresa constructora y de éstas máquinas, Alfred Kunz (1852–1900) había conseguido una primera patente el día 8 de junio de 1887 con el número 42407 para una «máquina para preparar hormigón en masa» que aún se parece mucho a estas lavadoras. Este primer modelo se presentó y patentó con mejoras en 1893 como «maquina novísima para preparar hormigón en masa» por Alfred Kunz (Kunz 1982) y se presenta en el año de 1903 con una ilustración en el primer número de la revista *Zement und Beton.*

De un artículo en esta revista, que apareció por primera vez en 1903 sabemos que sobre todo a partir de 1893 se presentaron y patentaron una infinidad de nuevos modelos de hormigoneras. Las máquinas mas innovadoras y usuales salieron hasta los años 1930 anunciadas en cada uno de los números de la revista. Estas hormigoneras tenían capacidad para mezclar entre 7 y 40 mΔ por carga (Bühler 2003). Es curioso que estas máquinas no se introdujeran, como podríamos suponer con nuestra visión actual de trabajo, para aliviar la labor de los obreros sino sobre todo, como hemos visto, para obtener una mezcla más homogénea que no se lograba a través del trabajo manual.

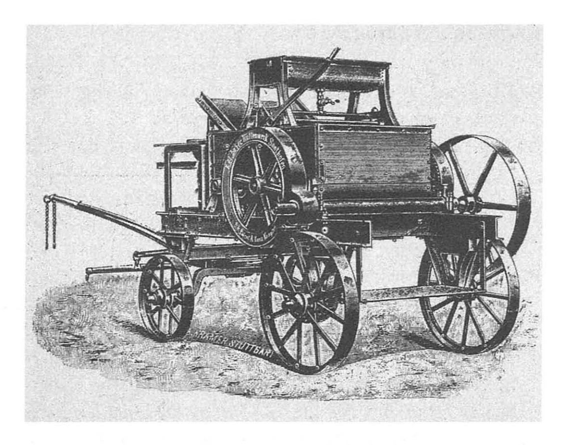


Figura 20
Litografía de la hormigonera o mezcladora de hormigón de Kunz, 1887 (Archivo fotográfico Deutsches Museum)



Figura 21
Fotografía de la maqueta de la hormigonera de Kunz en el Deutsches Museum, 1905 (Archivo fotográfico Deutsches Museum)

Una vez producido el hormigón de esta manera peones lo transportaban en cubetas y sacos al encofrado donde se vertía por capas de entre 15 a 20 centímetros de espesor para ser apisonado a continuación. El apisonado se ejecutaba por peones que trabajaban con palas de 16 centímetros de largo y ancho, que pesaban entre 10 y 17 kilos. Trabajaban 10 horas al día y 6 días a la semana para un sueldo deplorable. Si era necesario tenían que trabajar horas extra sin remuneración adicional.

UN ÚLTIMO EJEMPLO Y EL PRINCIPIO DEL HORMIGÓN ARMADO

Un ejemplo tardío del empleo del hormigón en masa es el puente del río Neckar cerca de Cannstatt del año 1910 (fig. 22). Se emplea el arco triarticulado, ya firmemente arraigado en el diseño y cálculo de puentes en Alemania. El diseño y cálculo estructural del puente se debe al Ingeniero de Puentes y Caminos Estatales, Karl-Wilhelm Schaechterle (1879–1971) quién, junto con Fritz Leonhardt, construirá mas tarde los puentes mas modernos de hormigón armado de la posguerra en Alemania. Este puente de Esslingen (destruido en 1945) tiene 322 metros de largo total con una luz máxima de 61,5 metros (Schaechterle 1937). Tan solo en los apoyos se utilizaron armaduras de hierro para ahorrar peso. En el enfoscado se usó arena de piedra local y el labrado de las cornisas se hizo a mano. La bajada de la armadura y de la cimbra se efectuó simultáneamente por 300 carpinteros. Esta construcción demuestra cuánto tiempo duró la época del hormigón en masa en Alemania, un hecho que se debe a que el arco triarticulado se hizo muy popular mientras que en Francia ya se construyó extensivamente con hormigón armado, usado en bóvedas sin articulaciones.

Aquí hay que recordar también que en este mismo tiempo François Hennebique ya planeaba el famoso

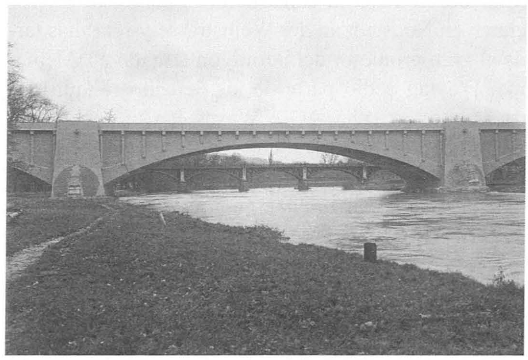


Figura 22
Fotografía del puente del río Neckar cerca de Cannstatt, 1910 (Archivo fotográfico Deutsches Museum)



Figura 23
La perrera de Conrad Freytag, primer edifico de hormigón armado en Alemania, 1884 (Archivo fotográfico Deutsches Museum)

puente Risorgimento en Roma como una construcción sumamente innovadora del hormigón armado.

El primer edifico de hormigón armado en Alemania se construye en 1884 (fig. 23) y se conserva en el Deutsches Museum. Es una perrera que construye Conrad Freytag (1846–1921) como muestra tras haberle comprado la concesión a la patente de Joseph Monier (1823–1906) para Alemania. Freytag había fundado en 1875 la constructora Freytag & Heidschuch en Neustadt an der Weinstrasse y será mas tarde el gran promotor del hormigón armado en Alemania. Freytag cedió parte de los derechos adquiridos de Monier en 1885 a G.A.Wayss & Co., quién a su vez en 1889 funda junto con Koenen la empresa Beton- und Monierbau (Barth 1940) y hace uso de la patente cedida por Freytag en el Norte de Alemania. A partir de 1893 se juntan los dos para la fundar la empresa Wayss & Freytag. A partir de 1933 la constructora compra además la licencia para hormigón pretensado de Freyssinet.

Lista de referencias

Barth, Julius. 1940. Beton- und Monierbau Aktiengesellschaft, 50 Jahre am 15.10.1939, Berlin.

Bühler, Dirk. 2003 Die Illerbrücken in Kempten: Beton in der Bautechnik um 1903. *Circa 1903 – Artefakte in der Gründungszeit des Deutschen Museums (editado por: U. Hashagen, H.-O. Blumtritt, H. Trischler)* Deutsches Museum, München, p. 474–498.

Bühler, Dirk. 2004. Brückenbau im 20. Jahrhundert: Gestaltung und Konstruktion. München Deutsche Verlags-Anstalt.

Colberg, Otto / Luft, Wilhelm. 1906. Die Kemptener Illerbrücken und architektonische Ausgestaltung von Betonbauten. *Bericht über die IX. Haupt-Versammlung des Deutschen Beton-Vereins am 14. und 15. Februar 1906.* Berlin, p. 91–104.

Colberg, Otto. 1906. Die Illerbrücken bei Kempten im Allgäu. *Deutsche Bauzeitung (1906)* C. 32 p. 219–222, C. 34 p. 232–236, C. 38 p. 261–264.

Deinhard, Johann-Martin. 1964. Massivbrücken gestern und heute. *Vom Caementum zum Spannbeton Tomo 2*, Wiesbaden-Berlin, p. 13–119.

Dyckerhoff-Chronik. 1939. Mainz-Amöneburg.

Ehrke, Karl. 1933. Die Übererzeugung in der Zementindustrie von 1858–1913, Jena.

Erinnerung an Ehingen. 1899. den Teilnehmern an dem Sommerausflug de deutschen Vereins . . . durch die Stuttgarter Zementfabrik in Blaubeuren und Allmendingen. Stuttgart Strecker & Moder.

Fernández Troyano, Leonardo. 1999. Tierra sobre el Agua. Madrid. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Haegermann, Gustav. 1964. Vom Caementum zum Zement. *Vom Caementum zum Spannbeton Tomo I*, Wiesbaden-Berlin, S. 27–99.

Alfred Kunz GmbH & Co. KG. 1982. 100 Jahre Baugeschichte aktiv mitgestaltet. 1882–1982, München.

Leibbrand, Karl von. 1894. Betonbrücke über die Donau bei Munderkingen. *Zeitschrift für Bauwesen (Sonderdruck)* Berlin. Ernst-Verlag.

Schächterle, Karl / Leonhardt, Fritz. 1937. Die Gestaltung der Brücken. Berlin. Volk- und Reich-Verlag.

Straub, Hans. [1949] 1992 Die Geschichte der Bauingenieurkunst. Basel Birkhäuser.

Séjourné, Paul. 1913. Grandes Voûtes. Vol. 4, Bourges, p. 115–122.

Wittfoth, Hans. 1972. Triumph der Spannweiten: Vom Holzsteg zur Spannbetonbrücke. Düsseldorf.

La tecnica costruttiva tradizionale italiana nel borgo di Navelli in Abruzzo

Carlos Alberto Cacciavillani
Nina Maria Margiotta
Claudio Mazzanti
Antonia Nardella

L'Abruzzo è una regione del centro Italia ricca di storia e dotata di una consistente tradizione dal punto di vista della tecnica costruttiva; quest'ultima si manifesta in una notevole produzione architettonica diversa per soluzioni tipologiche dettate dalla realtà geografica, per funzioni e per uso dei materiali. L'esigenza di conoscere la storia di questo territorio e la sua tecnica costruttiva si esplicita tramite l'approfondimento dello studio dei borghi che hanno costituito per secoli l'asse vitale della regione abruzzese, di cui il centro di Navelli è uno degli esempi più rappresentativi (figs. 1 e 2). Questo piccolo paese, a pochi chilometri da L'Aquila, conserva quasi intatta l'antica struttura medioevale (Angelone, D'Ascanio 2005, 168).



Figura 1
Navelli, vista d'insieme del borgo



Figura 2
Navelli, planimetria del centro storico

L'attenzione s'incentra in maniera sostanziale e diretta sulla conoscenza dei materiali e delle tecniche costruttive impiegate nella realizzazione di tali manufatti architettonici insieme alle molteplici relazioni che si intessono con le distinte variabili presenti nel territorio letto nel suo specifico: esse sono frutto della cultura materiale di un'epoca che trova espressione e continuità nell'architettura cosiddetta «minore». (Cacciavillani *et al.* 2005, 1387). Sull'area più alta del paese si collocano il Palazzo baronale, la Chiesa di S. Sebastiano, la Chiesa della Madonna delle Grazie, ma in tutto il borgo sono presenti, fra stradine strette e generalmente tortuose, palazzi signorili ed edifici arricchiti da logge, portali e finestre, oltre alle porte civiche, unici elementi conservati dell'antica cinta muraria.

Nel sottolineare la realtà urbana singolare ed eterogenea del borgo di Navelli non si possono tralasciare le caratteristiche del territorio che giustificano e connaturano la scelta del sito di fondazione che fu quello già anticamente denominato Piceggia Grande. Questo luogo assolveva pienamente ai requisiti della difendibilità poiché si ergeva su un colle ed era raggiungibile mediante un percorso di versante che seguiva la retta di massima pendenza del terreno.

Per comprendere l'evoluzione urbana del borgo, due sono gli episodi rilevanti. Il primo è l'approvazione di un decreto legislativo emesso nel 1447 da Alfonso d'Aragona in cui si imponeva a tutti coloro che possedevano più di venti capi di bestiame di «transumare» verso il Tavoliere della Puglia.

Il secondo grande evento fu il terremoto del dicembre 1456, tra i più disastrosi che si ricordino, quando numerosi centri sorti durante il periodo dell'incastellamento furono rasi al suolo; con la ricostruzione iniziò una nuova fase in cui, a seguito dell'ampliamento del borgo, la cinta muraria fu riedificata più a valle e fa la sua comparsa nell'abitato un nuovo tipo localmente denominato «casa ad arco» (fig. 3); si otteneva così il collegamento tra i percorsi urbani paralleli alle curve di livello, realizzando passaggi coperti, risolti con vari sistemi costruttivi quali strutture a volta o solai di legno, che in molti tratti congiungevano al di sopra del livello stradale anche le case a schiera. Nel periodo invernale questi spazi riparati costituivano dei luoghi di lavoro esterni.

L'impianto urbano racchiuso nella cinta muraria, caratterizzato solo da case a schiera parallele alle curve di livello resta inalterato fino al terremoto del 1703 che fu catastrofico per L'Aquila e le zone limitrofe. Le opere di riedificazione si prolungarono per circa trent'anni e portarono cambiamenti essenziali al sistema urbano di Navelli; la trasformazione più importante che il centro subì fu quella della cinta

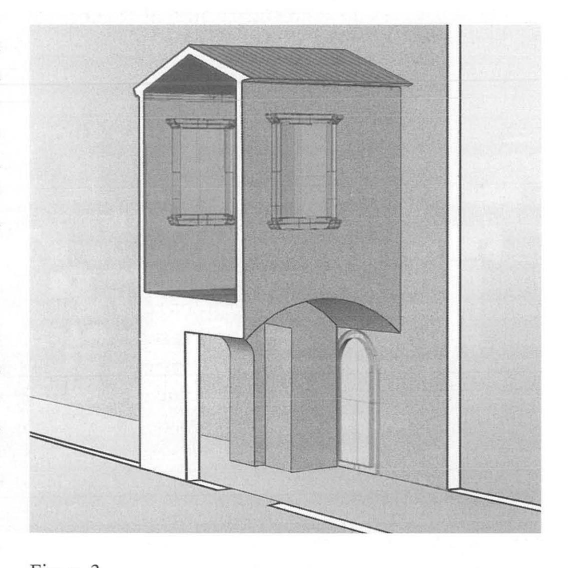


Figura 3
Navelli, modello tridimensionale di una «casa ad arco»

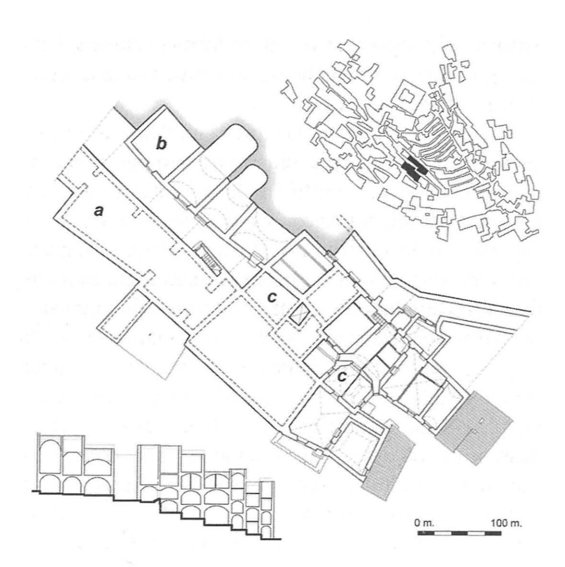


Figura 4
Navelli, rilievo di una frazione del borgo:
a) «casa mura»;
b) casa a schiera parallela alle linee di livello;
c) «casa ad arco»

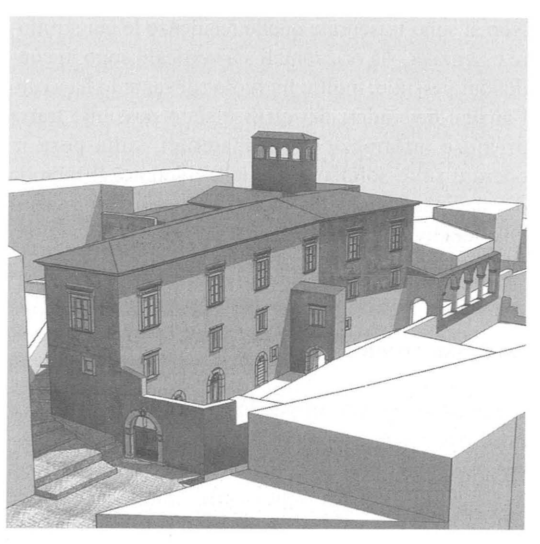


Figura 5
Navelli, «palazzetto» Marchi, vista tridimensionale

muraria in abitazioni: la «casa mura» (fig. 4) conferì un nuovo aspetto al borgo (Di Ciero 2005, 182).

Con la ricostruzione furono edificati anche numerosi «palazzetti» (fig. 5) realizzati tutti al di fuori del precedente limite urbano, che si costituirono in piccoli agglomerati di forma allungata, sviluppati sulle vie di accesso al borgo in prossimità delle porte urbane.

Nella ricerca che si è concretizzata con l'approfondimento della descrizione del costruito e attraverso l'analisi delle tecniche costruttive e dei materiali impiegati che lo distinguono, la stessa identificazione delle caratteristiche storico-tecniche può rivelarsi di grande interesse, soprattutto quando essa va oltre il puro intento classificatorio per affrontare invece l'articolato panorama delle motivazioni tecnologiche, architettoniche e, più generalmente, storiche, economiche, culturali e sociali, al quale l'adozione di una particolare tecnica costruttiva può essere ricondotta.

Il valore della tecnica costruttiva di Navelli, come degli altri borghi in Abruzzo, non è sufficientemente conosciuto poiché molti di questi nuclei urbani versano in uno stato d'abbandono. I risultati di queste analisi possono servire come base per interventi di rivalutazione, di recupero o di tutela.

La riscoperta del valore di questi centri storici è dettata da una nuova sensibilità, che privilegia le testimonianze del passato da cui trarre gli insegnamenti per il futuro. Tra i molti interrogativi a cui dare risposte approfondite, vi è il giusto valore che deve assumere l'intervento di recupero: partendo da norme generali dettate da esperienze simili, non si deve prescindere dall'oggetto su cui operare, poiché ogni intervento necessita di un'indagine accurata e specifica, sia dal punto di vista storico-tipologico sia da quello tecnico-costruttivo.

Per queste architetture l'elaborazione di un manuale del recupero, o di un codice di pratica, è un importante momento di sintesi del processo di conoscenza che deve essere di supporto ad una progettazione il cui obiettivo sia il rispetto dell'edificio su cui intervenire (Cacciavillani *et al.* 2005, 1393–1394).

L'analisi del centro urbano di Navelli è stata realizzata dividendo il paese in settori uniformi rispetto a determinate caratteristiche quali le tipologie, le soluzioni architettoniche e le tecniche costruttive ed è stato esaminato ogni singolo fabbricato del borgo; le costruzioni sono state oggetto d'indagine in tutte le parti esterne, mentre con maggiore difficoltà è stato possibile accedere nell'interno dal momento che molti dei proprietari non sono residenti a Navelli.

Non si sono trascurate quelle residenze le cui strutture essenziali, sia orizzontali sia verticali, sono in condizioni pessime, inoltre un ruolo rilevante lo ha avuto l'analisi dei ruderi dai quali è stato possibile trarre preziose informazioni sui materiali, sulla posa in opera e sulle soluzioni tecniche adottate. Il metodo d'indagine si basa sulla interazione delle informazioni ottenute attraverso l'analisi storica con i caratteri stilistici e la tecnica costruttiva.

Indagine storico-tipologica

Il borgo si estende in pendenza, lungo la direttrice nord-ovest/sud-est, la condizione migliore per l'esposizione alla luce solare. Lungo le strade principali si dispone l'edificato che segue l'andamento delle curve di livello con i colmi dei tetti generalmente paralleli alla strada di collegamento. Il superamento del salto di quota avviene mediante rampe oppure, quando la pendenza è elevata, tramite gradinate (Forlani 1983, 57).

Le case a schiera parallele alle curve di livello caratterizzano l'impianto del borgo più antico. Gli edifici sono a più livelli, con la cellula base quasi quadrata di 4/4,5 metri.

I vani e i servizi presenti nella residenza si svilupparono sempre in altezza per recuperare lo spazio che manca in orizzontale, infatti, la casa presenta più piani in quanto in ognuno di essi si colloca un solo ambiente, quindi più ambienti determinano l'esistenza di più livelli. Dall'accurata analisi della tipologia si evidenziano gli accessi che si trovano sui due diversi fronti stradali, per cui la residenza ha l'ingresso dalla via posta alla quota maggiore, mentre il piano inferiore, adibito a stalla o magazzino, è accessibile da valle.

Con la ricostruzione successiva al terremoto del 1456 si ebbe l'introduzione delle case a schiera ortogonali alle curve di livello; questi edifici, che si sviluppano in altezza, furono costruiti dove la pendenza del terreno era ragguardevole. Di solito al piano terra vi era la stalla o il magazzino il cui soffitto era voltato, da questo locale con una scala esterna in pietra o sfruttando il dislivello, si arrivava al piano superiore che era il luogo dove si collocavano la cucina e una camera da letto; il secondo piano, quando era presente, ospitava due camere, mentre il sottotetto era destinato a pagliaio o granaio (Ortolani 1961, 17–18). Sempre in questo periodo fu edificata la parte orientale del centro urbano che è il versante più disagevole dato il forte dislivello.

La comunicazione tra le strade parallele è garantita da vie gradonate che penetrano l'abitato più compatto interrompendo le mura delle case allineate lungo il percorso stradale tendenzialmente piano con passaggi coperti, che danno origine alle «case ad arco» le quali non sono singole unità ma si realizzano come elemento di raccordo tra due schiere o costituiscono un vano aggiuntivo ad una schiera (Di Ciero 2005, 183).

L'arco permette di mantenere collegato il fronte del caseggiato senza soluzione di continuità con vantaggi evidenti per la stabilità edilizia e per la difesa. A Navelli sull'arco possono esserci i corridoi di comunicazione fra due unità abitative, le camere da letto o il soggiorno a differenza di altre località montane, dove il vano o i vani che poggiano sull'arco sono adibiti a fienili il cui riempimento avviene mediante la porta finestra (Ortolani 1961, 46). Le «case ad arco» possono essere caratterizzate dalla presenza di strutture voltate o solai lignei.

Nel caso delle volte, alle estremità di queste sono presenti due archi esterni più stabili, costruiti con conci squadrati, di dimensioni omogenee, realizzati in continuità con la superficie della volta (fig. 6), op-

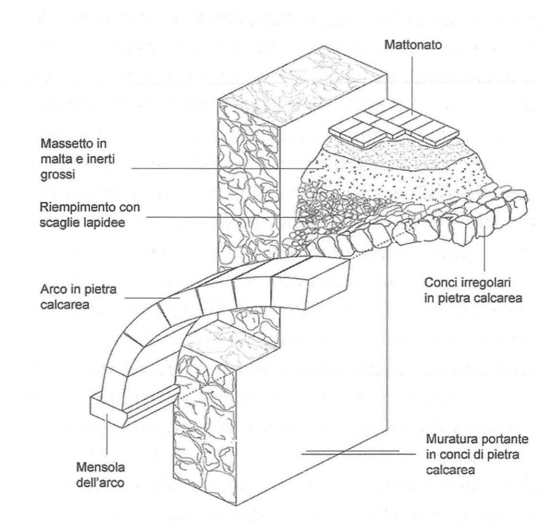


Figura 6
Navelli, spaccato assonometrico della struttura voltata di una «casa ad arco»



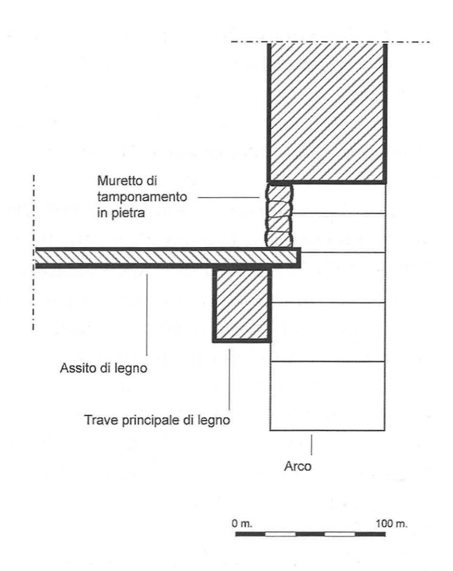


Figura 7
Navelli, solaio in legno di una «casa ad arco»: vista e particolare della sezione

pure più sporgenti; fra gli archi, la superficie della volta risulta costruita con conci più piccoli ed irregolari, ed appare in genere differente rispetto alla muratura su cui si imposta. Queste volte possono avere profilo a tutto sesto oppure ribassato; in alcuni casi vi sono anche delle lunette, necessarie per ricavare l'apertura delle porte al livello stradale. I muri portanti sono quelli che definiscono il percorso viario; l'ampiezza della volta corrisponde alla larghezza dei vicoli e non supera i 4 metri.

Nel caso del solaio ligneo, questo può trovarsi al di sopra della chiave dell'arco, oppure può essere al di sotto di questa, per cui risulta visibile dall'esterno, in quest'ultimo caso ai lati del solaio viene innalzato un muro di tamponamento, con materiali più leggeri, per chiudere l'apertura fra la superficie superiore del solaio e l'intradosso dell'arco (fig. 7). Le travi principali sono grossolanamente squadrate e non presentano un asse perfettamente rettilineo, su di esse poggia l'assito superiore, senza travi secondarie, le travi più esterne del solaio si trovano quasi sempre in adiacenza con gli archi sul fronte stradale. L'interasse fra le travi è compreso fra 70–100 cm, con una sezione pressoché quadrata, di dimensione pari a circa 20 cm; di regola poggiano sui muri laterali, come nel caso dei passaggi coperti a volta, ma in alcuni casi scaricano sugli archi d'accesso al passaggio coperto.

Gli archi sono spesso l'unica parte residua nel caso delle «case ad arco» crollate, infatti a Navelli ci sono alcune vie caratterizzate dalla presenza di una serie di queste strutture arcuate che collegano i fronti prospicienti degli edificati. Un caso particolarmente singolare è costituito da uno di questi archi il cui concio di imposta, accuratamente lavorato, corrisponde alla chiave dell'arco di un portale lapideo sottostante, sul quale si scarica la spinta dell'arco.

Gli edifici denominati «case mura» sono caratterizzati da contrafforti presenti sul prospetto meridionale che conferiscono maggiore robustezza all'insieme. Questi sono costituiti da una serie di arcate a scarpa, realizzate con muratura in conci di calcare di grosse dimensioni, squadrati, disposti orizzontalmente in filari di altezze costanti e con i giunti sfalsati; lo spessore della muratura è compreso tra 1/1,50 metri.

L'inserimento dei palazzetti nel tessuto urbano di Navelli cominciò con la ricostruzione dell'area esterna al recinto murario. Questa zona dal punto di vista della trasformazione urbanistica è la più importante per il centro perché ha risentito di tutti i cambiamenti del borgo. Particolare non trascurabile è l'aspetto del soleggiamento e della ventilazione degli edifici visto

che le prime nuove costruzione si posizionavano lungo il versante sud-ovest.

Indagine tecnico-costruttiva

Le tecniche costruttive sono state influenzate dalla situazione storica, economica e sociale vissuta dal borgo. Sin dall'inizio del XX secolo le soluzioni adottate in loco hanno subito lenti ma importanti cambiamenti che sono oggetto di studio, per le murature ed i cantonali; per le aperture, in particolare portali e finestre; infine si sono analizzati gli orizzontamenti interni quali volte e solai lignei.

Murature

Per classificare le murature di Navelli si sono utilizzati i seguenti parametri:

a) spessore del muro, dipendente anche dal tipo di edificio;
b) dimensioni dei conci utilizzati e loro disposizione;
c) tecnologia di posa in opera.

La suddivisione degli apparecchi murari in base alla lavorazione e posa in opera degli elementi lapidei che li costituiscono consente di tracciare un'importante linea di demarcazione fra le strutture, prodotte da maestranze più o meno qualificate e secondo logiche costruttive differenti. La drastica suddivisione fra un cantiere «ricco», specializzato e selettivo, in cui si fa uso di materiale lavorato accuratamente e posto in opera con criteri di efficienza e praticità, ed un cantiere «povero», indifferenziato e grossolano, dove il reperimento del materiale ha un carattere estemporaneo e la sua posa in opera è condotta in maniera empirica e approssimativa, va stemperata in una valutazione approfondita della qualità tecnica d'ogni tipologia muraria, all'interno della quale è possibile riscontrare lavorazioni effettuate con maggiore o minore perizia (Fiorani 1996, 118).

A Navelli gli apparecchi murari realizzati con materiale poco rifinito, quali bozze, scapoli e scaglie sono rappresentativi della tecnica costruttiva della zona.

Nell'analizzare alcune murature con apparecchio irregolare, si è osservato che tali tipologie non presentano, in genere, una minore efficacia statica rispetto alle strutture più regolari, sono il prodotto d'un assemblaggio effettuato con particolare capacità e competenza da parte del muratore (Mannoni 1988, 403–420). Il mastro addetto alla posa in opera di questo apparecchio doveva essere infatti capace di scegliere di volta in volta le bozze, di assestare bene i pezzi e di tessere legamenti efficaci fra i paramenti. Tali apparecchi hanno avuto un notevole successo a partire dall'epoca medievale.1

La difficoltà di operare una distinzione cronologica a Navelli è notevole poiché questo apparecchio rappresenta un'applicazione, quasi spontanea, d'una pratica costruttiva protrattasi lungamente nel tempo. La realizzazione delle murature in pietrame legato da malta è proseguita nel borgo almeno fino al XIX secolo.

Nell'abitato lo studio dell'apparecchio murario per gli edifici di Navelli è stato condotto soprattutto rispetto alle pareti esterne, analizzando sistematicamente tutte quelle nelle quali il materiale risulta visibile, non coperto da strati d'intonaco. Particolare attenzione è stata posta alla morfologia degli elementi, esaminando la dimensione e la giacitura dei conci, verificando l'allineamento di questi (fig. 8),

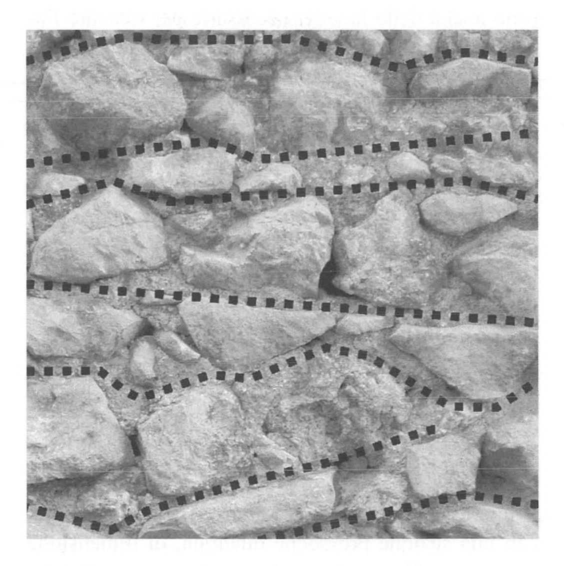


Figura 8
Navelli, analisi di una muratura

l'inserimento di lastre lapidee e la presenza di elementi in laterizio.

In generale, le strutture portanti e gli elementi di chiusura sono realizzati con muri a sacco; l'apparecchio murario delle costruzioni più antiche è eseguito con prevalenza di conci in pietra calcarea; qui l'utilizzo del laterizio è più raro, tranne che per l'inserimento sporadico di zeppe e scaglie di tegola. Maggiori informazioni sono state tratte dagli edifici parzialmente o totalmente diruti, nei quali è possibile analizzare anche la superficie interna del muro, poiché priva dell'intonaco; la cortina interna e quella esterna dell'apparecchio murario risultano realizzate con elementi di dimensioni più grandi, mentre la profondità varia; il riempimento della muratura presenta conci di dimensioni inferiori. Lo spessore murario mediamente è di 70–100 cm; al variare delle dimensioni del muro si è comunque constatato che le caratteristiche costruttive non cambiano, poiché aumenta la presenza di grossi blocchi di pietra che garantiscono una buona orditura del muro.

I conci di calcare, di forma non squadrata e di altezze diverse, appaiono disposti con giunti sfalsati in filari non perfettamente orizzontali. Questo tipo di muratura è maggiormente presente nelle case a schiera parallele alle curve di livello e nelle case ad arco. Nelle pareti esterne sono visibili dei conci di dimensioni maggiori rispetto agli altri e disposti con un passo relativamente regolare: sono i conci di ammorsamento collocati ortogonalmente allo sviluppo del muro. Ogni 50–70 cm si possono riconoscere dei filari di regolarizzazione.

I palazzetti, come anche alcune parti delle «casa mura», sono caratterizzati da una maggiore presenza di muratura in conci di forma e grandezza più variabili: quelli più grossi sono appena sbozzati, mentre quelli di dimensioni minori risultano maggiormente irregolari. Questa soluzione tecnica è dovuta probabilmente al periodo di costruzione successivo agli eventi sismici, quindi in un momento non favorevole dal punto di vista economico.

Negli edifici di più recente costruzione si riscontrano murature nelle quali, oltre all'uso prevalente della pietra, sono presenti in misura maggiore anche parti realizzate con mattoni.

All'interno del borgo si individuano altre strutture murarie significative, realizzate con conci più accuratamente squadrati, che costituiscono speroni di rinforzo per l'edificato, probabilmente realizzati per la natura sismica del sito. Ulteriori elementi importanti sono le porte urbane ancora esistenti, in base alle quali è stato possibile analizzare la tecnica costruttiva del medioevo.

Cantonali

Gli spigoli delle murature portanti sono realizzati solamente con blocchi squadrati di pietra (fig. 9), per garantire una migliore compattezza strutturale, considerando che l'impiego di massi non lavorati non era opportuno, per la loro particolare forma irregolare che non garantiva fra loro un appoggio perfettamente piano.

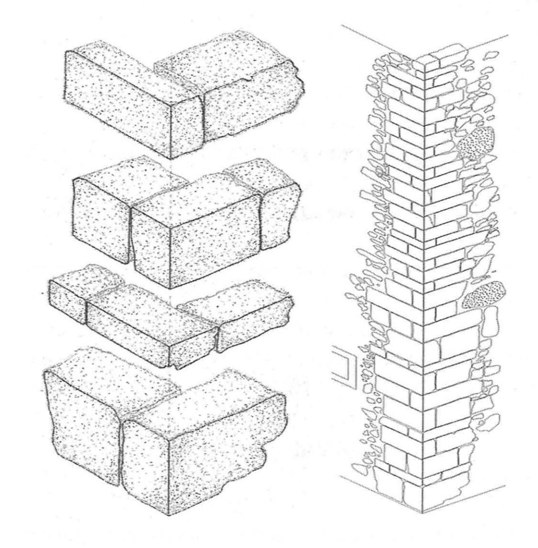


Figura 9
Navelli, analisi di un cantonale

I conci dei cantonali nella parte in cui si legano col resto della muratura possono anche essere appena sbozzati, la forma irregolare dei blocchi non costituisce un elemento di minor pregio per queste costruzioni, anzi favorisce la compattezza dell'angolo, permettendo un migliore ammorsamento fra la cortina interna del muro ed il cantonale. Molte informazioni si deducono studiando la geometria del cantonale in rapporto al resto della costruzione, in particolare rispetto all'incastro dei singoli conci del muro fra i

blocchi del cantonale. La dimensione dei conci nel singolo cantonale in alcuni casi può risultare costante, ma più frequentemente è variabile, sia come misure orizzontali che come altezza del blocco, per cui si trovano elementi di sezione pressoché quadrata intervallati da lastre più sottili. Negli edifici con due piani normalmente non si registrano variazioni sostanziali nelle dimensioni medie dei conci; al contrario negli edifici più alti si è constatato come blocchi di altezza maggiore siano posizionati nella zona inferiore del cantonale, mentre verso il tetto tale misura diminuisce, restando però invariate le altre dimensioni: questo è probabilmente motivato dalle difficoltà incontrate sul cantiere per portare ad altezze elevate pezzi troppo pesanti.

Nel corso dello studio delle tecniche costruttive di Navelli, risultati significativi si sono ottenuti confrontando fra loro più cantonali, rilevati in zone differenti del borgo, dove si sono osservati anche alcuni esempi con conci che sporgono dal muro, in alcuni casi in entrambe le direzioni.

Un'altra fase d'analisi ha riguardato la presenza di elementi con blocchi squadrati anche in situazioni non all'angolo fra due muri, ma nella parte centrale di una cortina muraria, in genere come giunzione fra due differenti costruzioni, ad esempio in corrispondenza di un edificio più alto di quello al lato. Questo tipo di elemento può risultare particolarmente utile per desumere le differenti fasi di costruzione degli edifici del borgo.

Aperture

Elementi degni di nota sono le aperture, in genere di modeste dimensioni: porte, portoni e finestre. Gli infissi sono generalmente realizzati in legname dolce oppure in noce e presentano sovente uno stato di degrado dovuto all'abbandono ed all'esposizione continua agli agenti atmosferici. Le porte possono essere ad uno o a due battenti, realizzate con tavole di legno, raramente anche intagliate con motivi decorativi.

Le aperture, costituite da elementi lapidei, in alcuni casi presentano una semplice ma raffinata rifinitura, con decorazioni, incisioni e cornici. I pezzi in pietra sagomati possono essere squadrati su tutti i lati, oppure solo per definire la forma della bucatura, mentre risultano di forma irregolare rispetto alla superficie ammorsata nel muro.

Portali

Per la comprensione della tecnica costruttiva grande importanza assume l'analisi formale dei portali e dei singoli pezzi che li compongono, quali il concio in chiave che in alcuni casi diventa anche elemento decorativo: per tutti questi elementi si è proceduto ad un attento rilievo e restituzione grafica. Quelli riscontrati a Navelli possono essere ad arco, caratterizzati da profilo a tutto sesto o ribassato, quasi mai ad ogiva, costruiti in pietra calcarea in alcuni casi bocciardata. Una caratteristica dell'architettura di Navelli, e più in generale di questa zona appenninica, è la conformazione dei portali attraverso due soli elementi lapidei, sagomati per riprodurre la forma dell'arco e che si reggono per mutuo contrasto, prevedendo la superficie di giunzione fra i due conci nella zona centrale dell'arco, oppure in un altro punto di questo, se i pezzi non sono simmetrici.

Sono presenti anche portali con architrave: l'elemento orizzontale è generalmente in pietra calcarea, oppure in legno come nel caso dell'accesso agli ambienti rustici nelle zone più periferiche del borgo.

La pietra veniva lasciata a vista, pertanto era oggetto di un'attenta lavorazione e rifinitura, con un'estrema precisione nella giunzione fra i pezzi; bisogna sottolineare come questo avvenisse anche per i portali dei magazzini a piano terra, soprattutto nella parte più antica dell'abitato. In generale l'architrave in pietra, nei portali come nelle finestre, è più corto rispetto alla larghezza dei piedritti, pertanto al fine di ripristinare l'allineamento formale venivano inseriti lateralmente dei pezzi della stessa pietra, anch'essi squadrati; in altri casi meno raffinati, invece, questa soluzione estetica non è presente e ai lati dell'elemento orizzontale c'è direttamente il muro.

Un aspetto tecnico rilevante è la presenza, al di sopra del portale architravato, di un arco di scarico, realizzato con la stessa pietra utilizzata per il muro, però tramite conci più accuratamente squadrati. Un caso significativo è costituito da un arco in pietra, sul quale c'è un ulteriore arco realizzato però in mattoni: l'uso del laterizio in questo caso è significativo dell'epoca tarda di costruzione.

Altra caratteristica può essere la presenza di una finestra subito al di sopra del portale (fig. 10), che serviva per l'illuminazione e l'aerazione del locale al pianterreno, ma non bisogna tralasciare l'importanza

statica di tale soluzione.2 Per questo tipo di portali è interessante verificare dove gli elementi verticali della finestra poggiano rispetto alla struttura sottostante: in alcuni casi i pezzi che compongono l'arco sono sagomati in modo da avere superiormente una sporgenza che determina il piano d'appoggio orizzontale per il piedritto superiore; in altri casi le finestre poggiano sulla muratura costruita al di sopra degli elementi dell'arco.

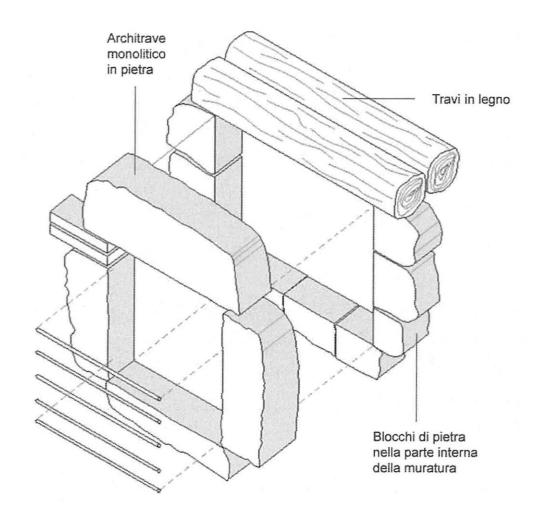


Figura 11
Navelli, esploso assonometrico di una finestra

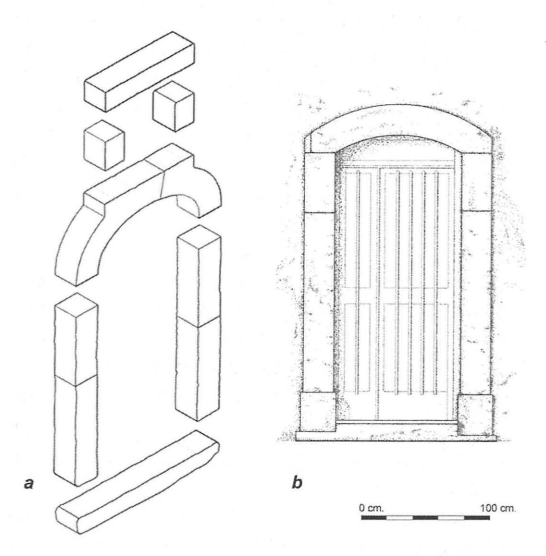


Figura 10
Navelli, due esempi di portali:
a) esploso assonometrico di un portale con finestra superiore;
b) rilevo di un portale senza finestra superiore

Finestre

Nelle finestre non prevale la forma ad arco e la muratura superiore è sostenuta da più architravi lignei accostati, visibili dall'esterno oppure nascosti dietro l'architrave in pietra sulla facciata (fig. 11), dove può anche essere presente un arco di scarico in pietra o una piattabanda, realizzata in mattoni posti di taglio per gli edifici più recenti.

Una caratteristica importante di Navelli è la soluzione delle finestre d'angolo (fig. 12): queste servono a dare luce a stanze che non si affacciano direttamente sul fronte stradale, in particolare nel caso delle «case ad arco».

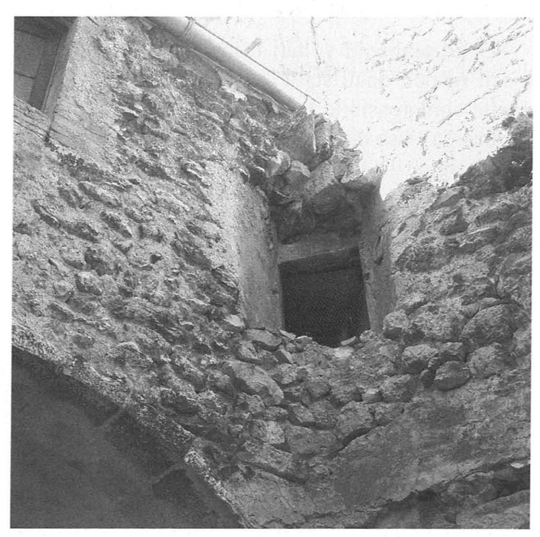


Figura 12
Navelli, vista di una finestra d'angolo

Orizzontamenti interni, le volte

Gli orizzontamenti interni possono essere realizzati attraverso volte o solai lignei.

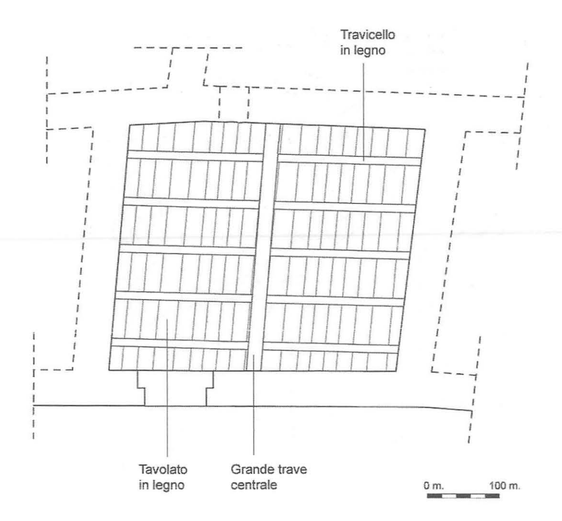


Figura 13
Navelli, pianta dal basso di un solaio con una grande trave centrale

Per gli ambienti voltati bisogna distinguere fra i locali rustici, quali stalle e cantine, dove è direttamente comprensibile la tecnica costruttiva contraddistinta dall'uso di pietrame non squadrato, e gli ambienti signorili dove per la presenza dell'intonaco, l'analisi è più complessa.

Nelle stalle degli edifici della parte estrema del borgo sono presenti volte a crociera in mattoni disposti a foglio, di costruzione più recente, dove l'arco che separa le volte presenta l'alternanza di mattoni posti di piatto e di taglio.

Orizzontamenti interni, i solai lignei

Nello studio dei solai si è individuato il tipo di orditura, che in alcuni casi è costituita dalle sole travi principali, mentre in altri sono presenti anche quelle secondarie; in alcuni esempi si è osservata un'unica grande trave, posta nel mezzo della stanza, che costituisce un appoggio intermedio per un sistema di travature ad essa ortogonali (fig. 13). Si è proceduto ad un'attenta determinazione delle dimensioni e della giacitura dei vari elementi rispetto alla struttura muraria.

Note

1. Considerazioni analoghe sono state effettuate da Mannoni (1991) che parla di «opere disordinate».
2. L'aspetto statico dei portali che presentano superiormente una finestra riveste particolare importanza nell'analisi della tecnica costruttiva di Navelli e degli altri borghi di quest'area. Oggetto di future indagini potrà essere l'individuazione di un rapporto medio fra la larghezza dell'apertura della porta e quella della finestra superiore.

Bibliografia

Angelone, Sebastiano; Federico D'Ascanio. 2005. Piano di recupero del Patrimonio Edilizio 2002. In *Il Novecento a Navelli*, 168–171. Villa Magna: Tinari.

Di Ciero, Rocco. 2005. Recupero del Centro Storico di Navelli 2002. In *Il Novecento a Navelli*, 172–186. Villa Magna: Tinari.

Cacciavillani, Carlos Alberto *et al.* 2005. La tecnica costruttiva nell'edilizia storica minore delle comunità montane in Abruzzo. In *Teoria e pratica del costruire: saperi, strumenti, modelli*. Vol. 4, 1385–1394. Ravenna: Edizioni Moderna.

Fiorani, Donatella. 1996. *Tecniche costruttive murarie medievali. Il Lazio meridionale*. Roma: Viella.

Mannoni, Tiziano. 1988. Archeologia della produzione. In *Archeologia e restauro dei monumenti,* 403–420. I Ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia (Certosa di Pontignano-Siena, settembre-ottobre 1987), a cura di R. Francovich e R. Parenti, Firenze: edigiglio.

Mannoni, Tiziano *et al.* 1991. Archeologia ed archeometria dei muri in pietra. Superfici e strutture in Liguria. In *Le Pietre nell'Architettura: Struttura e Superfici*, 151–162. Atti del convegno (Bressanone, giugno 1991), a cura di G. Biscontin e D. Mietto. Padova: Einaudi.

Forlani, Maria Cristina. 1983. *Tecnologie locali e costruzione della casa in Abruzzo*. Pescara: Sigraf.

Ortolani, Mario. 1961. *La casa rurale negli Abruzzi*. Firenze: LEO S. OLSCHKI.

Tras los pasos de una «restauración en estilo» en el barroco gallego: Fernando de Casas y los informes de curatos de presentación del Cabildo de Santiago de Compostela

Miguel Ángel Cajigal Vera

El Cabildo de Santiago de Compostela fue reuniendo desde los primeros pasos de la sede catedral un cuantioso patrimonio que dio lugar, con el fin de organizar su gobierno, a un sistema de «tenencias» que ya se encontraba perfilado a finales del siglo XII (Pérez Rodríguez 1996, 205–215). Dichas tenencias no eran otra cosa que un conjunto de propiedades, rurales o urbanas, agrupadas generalmente en función de su donante o su ubicación.[1] Su titularidad se otorgaba de manera exclusiva a canónigos del propio Cabildo, quienes, a través de una subasta, se hacían cargo de la gerencia de las mismas, disfrutando de los ingresos que la posesión generaba a cambio del desembolso de un censo anual a la mesa capitular. Como compensación por los beneficios obtenidos el «tenenciero» debía administrar apropiadamente las posesiones bajo su tutela, siendo supervisada su labor por un Canónigo Visitador de Hacienda (Taín Guzmán 1992). Este sistema posibilitaba fraccionar los múltiples asuntos a atender entre diversos rectores parroquiales, racionalizando notablemente la gestión de la hacienda capitular. Junto con el Voto de Santiago, estas tenencias eran el sustento económico estable que convirtió al cuerpo capitular compostelano en el más rico de Galicia y uno de los principales promotores artísticos del barroco gallego (Bonet Correa 1984, 20–21).

Los capitulares compostelanos detentaban en exclusiva el derecho de «presentar» (nombrar) a los curas que se ocupaban de las parroquias rurales anexas a dichas tenencias. Cada párroco tenía la obligación de conservar el templo a su cargo en el mejor estado posible, atendiendo a la buena salud de la estructura arquitectónica y a la decencia de sus ornatos. En caso de deterioro del edificio, debía comunicar esta circunstancia al Cabildo, que procedía a su vez a examinar el estado de la fábrica (ver Documento 1). Al margen de estas revisiones extraordinarias, existía la imposición de que el Canónigo Visitador examinase cada tenencia y su parroquia al menos cada diez años, como se decreta en las *Constituciones Capitulares* del arzobispo Francisco Blanco (1578). Precisamente dichas inspecciones, tanto las extraordinarias como las de rutina, constituyen un proceso de análisis constructivo de enorme interés, pues los canónigos visitadores, al no estar capacitados técnicamente para valorar el estado de las edificaciones, se hacían acompañar durante el examen por el maestro de obras de la Catedral.

Generalmente, era el propio arquitecto quien redactaba personalmente los informes correspondientes al estado de los edificios, de igual modo que determinaba las condiciones a observar en caso de proceder una intervención, la cual también solía supervisar. Muchos de estos informes se conservan actualmente en el Archivo de la Catedral de Santiago (A.C.S.), en la colección de legajos de *Visitas, casas y tenencias* (*VCT*), como es el caso de los documentos que se incorporan en el Apéndice Documental. Las circunstancias laborales que hemos descrito quedan claramente expuestas en una visita de 1647 a la iglesia parroquial de Santa María de Ons, a la que acude el maestro de obras Francisco Dantas:



Figura 1
Marca de propiedad capitular en un inmueble de Santiago de Compostela (fotografía del autor)

> Bisita que yo, el canónigo Pardo, en virtud del aucto capitular de treçe de abrill de quarenta y siete, hiçe del coro o capilla maior de la iglesia perroquial [sic] de Santa María d[e] Ons, que hes de presentaçión desta Santa y Apostólica iglesia, y se le paga de patronasgo en cada un anno quatro cargas de centeno, y es anexo dicho patronasgo a la thenencia da Condomiña, de que fue thenenciero el señor licenciado don Juan de Albuerne Celgas, racionero que fue desta Santa Iglesia, y oy lo hes el señor racionero don Alonso de Ayala.
> Y dicha visita hiçe con asistencia de Francisco Dantes [sic], maestro de obras desta Santa Iglesia, en la manera siguiente . . .
> (A.C.S., *VCT nº1*, 274rv)

A la luz de la valiosa documentación conservada, profundizar en este cometido de peritaje del arquitecto, que representaba una de las principales obligaciones ligadas al cargo de maestro de obras catedralicio, supone un importante avance en la historia de la construcción en nuestro país. Estos documentos de primera mano, elaborados por los propios artífices, aportan nuevas e interesantes aristas al perfil profesional del arquitecto durante la Edad Moderna, como las que centran la atención del presente trabajo.

Para una comprensión completa de este fenómeno constructivo, debemos señalar también aquellos aspectos que hacen referencia a la responsabilidad económica de los edificios. Por una parte, hay que señalar que el inmueble en sí mismo era considerado como pertenencia del Cabildo, al igual que los restantes inmuebles de que constase la tenencia.

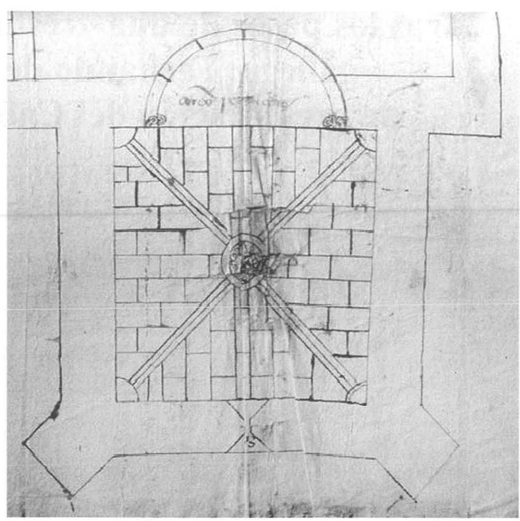


Figura 2
San Lorenzo de Agrón. Planta anónima para la reconstrucción de la capilla mayor (1521) (Taín Guzmán 1999)

Como parte de la hacienda catedralicia, se procedía a identificar el templo con una concha de Santiago en su fachada, del mismo modo que se empleaba esta marca de propiedad en las casas urbanas de la ciudad de Santiago que eran de dominio capitular (fig. 1).

Sin embargo, al ser incluido el inmueble parroquial entre los bienes de la tenencia, los costes de reparación y adecentamiento del mismo debían ser sufragados por el rector correspondiente, excepto en el caso excepcional de la capilla mayor, cuyo patronato correspondía al Cabildo, que estaba por ello obligado a costear las intervenciones pertinentes.[2] Este es el motivo de que, ya en los albores de la Edad Moderna, se elaboren proyectos de reconstrucción que abarcan exclusivamente el espacio patrocinado por las arcas compostelanas (fig. 2).

A raíz de esta vinculación del Cabildo como patrono de los altares principales de dichas parroquias, se irá desarrollando una tipología arquitectónica específica para resolver estos templos. Independientemente de la antigüedad de la fábrica,[3] cuando se abordan las intervenciones de la Edad Moderna habrá una tendencia general a llevar a cabo proyectos de escala modesta, sólidos pero sin excesivas incursiones en el decorativismo. La tipología más extendida será la de capilla

mayor cuadrangular, reforzada con machones ubicados, mayoritariamente, de manera angular, como en el caso de Agrón que acabamos de ver. Una mayor libertad se observa en lo que se refiere a la cubierta de la capilla, donde se hacen mayores concesiones al pasado, y se recurre en mayor número de ejemplos a reproducir el diseño previo, de origen medieval.

Conservación y restauración arquitectónica en la Galicia rural durante la Edad Moderna: una posición de compromiso entre la ciencia arquitectónica y la tradición gremial

Por su escala y técnica constructiva, las fábricas eclesiásticas han presentado tradicionalmente constantes necesidades de mantenimiento. Estas dificultades de conservación, todavía existentes hoy en día, revestían una mayor gravedad en los siglos pasados, cuando los medios de intervención eran técnicamente mucho menos evolucionados que los que disponemos en la actualidad. Si añadimos a todo ello las particularidades climatológicas del norte peninsular, especialmente en lo referente a la humedad, nos encontramos con edificios sometidos de manera constante a un desgaste ambiental que debía ser combatido de manera regular, lo que suponía un desembolso constante destinado a tal efecto.

Ciñéndonos geográficamente al caso gallego, la documentación conservada es elocuente a la hora de identificar el principal factor de deterioro al que se enfrentaban los maestros constructores: el agua. En primer lugar, la humedad del clima obligaba a retocar regularmente los revoques, única medida de aislamiento viable en aquel momento, a la par que se trataba de conducir las aguas pluviales lo más lejos posible de los muros para evitar el desgaste de los encintados. En las parroquias de presentación capitular, enclavadas generalmente en focos rurales, las obras de restauración rutinarias eran menos habituales, y por ello se señalan como necesidad primaria en la práctica totalidad de los informes conservados:

> Son neçesarias unas çintas de cal alder[r]edor de la pared del coro por anbos lados, con sus texas por abajo para que impida que el agua no baia por el muro abaxo.
> Visita a San Andrés de Trobe. 1661. (A.C.S., *VCT n°2*, 198r)

En lo referente a la conducción de pluviales, mantener seca la plementería de las bóvedas era una preocupación constante, para evitar debilidades en la argamasa y peligrosos desplomes del relleno, ejecutado en muchos casos por artífices locales familiarizados (que no expertos) en el arte constructivo. Esta preocupación por la humedad que afecta al coro se aprecia en una visita de 1657 a San Miguel de Gándara:

> Y ansimismo son necesarias otras doce sobrepenas de piedra de grano del mismo largor y anchor. Éstas se an de fijar por la parte del solano, en la pared que divide el coro de la yglesia, para que reciban las aguas que decorren de dicha pared. Y si esto no se hace, jamás el coro quedará seguro de las aguas.
> Visita a San Miguel de la Gándara. 1657. (A.C.S., *VCT n°2*, 53r)

Por otra parte, la meteorología de la zona obligaba a retejar todos los años, de cara al invierno, corriendo serio peligro en caso de no hacerlo así. Una necesidad técnica que era conocida no sólo por profesionales de la arquitectura, sino también por la gente del pueblo, que debía reponer a su vez anualmente los tejados de sus viviendas. Así se desprende, por ejemplo, de la declaración tomada a tres vecinos de Santa María de Ons, con respecto a la visita que hemos visto anteriormente:

> Tres feligreses de Ons, llamados Afonso de Aruxe y Domingos de Forxáns y Andrés de Insua, diçen:
> No se acuerdan quien hiço la mitad del respaldo del coro, y que ya no fue en tiempo de[l tenenciero] Canguas, sino mui antes.
> Que el coro caió siendo Celgas thenenciero, que en tiempo de Canguas estaba en pie, que siempre le adreçaron el cavildo o thenencieros de la [tenencia de la] Condomina.
> Que el no retexalle todos los años es culpa del recaudador o procurador de la iglesia.
> Que ay allí vezinos que saben del arte, y le adreçarán a buen comodo, para lo qual los arán benir acá.
> (A.C.S., *VCT n°1*, 276r)

Como consecuencia lógica de la humedad, no estaban libres tampoco las fábricas parroquiales de la proliferación de musgos y otros organismos vegetales, cuyo crecimiento descontrolado y constante también comprometía el buen estado de conservación de la construcción, deteriorando los tejados e impidiendo a las cubiertas un buen desahogo de plu-

viales. Esta circunstancia venía agravada por la pobreza de materiales que, en muchos casos, era característica de estas construcciones,[4] haciéndolas especialmente vulnerables ante cualquier filtración de aguas:

> . . . el texado está mal tratado, y las texas lleñas de musgo y maleças, silvas y ierbas que impiden la corriente de las aguas, y caen muchas goteras, así dentro de la capilla maior como a los lados al derredor de la pared, que haçe mucho dano y a lo adelante puede pudrir la madera. Es neçesario se limpie el texado, y se retexe, y se doble la texa.
> Visita a San Andrés de Trobe. 1661. (A.C.S., *VCT nº2*, 198r)

Los problemas constructivos de cierta envergadura aparecían cuando estos arreglos periódicos eran descuidados y devenía la ruina en bóvedas, arcos y muros, elementos arquitectónicos de mayor complejidad y con una técnica específica. De hecho, tal como apreciamos en las anteriores citas documentales, las obras menores, de mantenimiento, eran confiadas normalmente a artífices locales (« . . . ay allí vezinos que saben del arte, y le adreçarán a buen comodo . . . »), en una clara reminiscencia de tradición gremial (Goy Diz 1998), mientras que para intervenciones de mayor exigencia técnica se hacía necesario el consejo de maestros de mayor experiencia.[5] Cuando se apreciaba un posible desplome, se trataba de atenuar el defecto de la fábrica a través de estribos de circunstancias que garantizasen la estabilidad temporal del conjunto, en ocasiones para ralentizar la ruina a la espera del socorro del Cabildo. Cuando el desmoronamiento resultaba inminente, con tal peligro que obligaba a evacuar mobiliario y funciones litúrgicas (ver Documento 2), las soluciones parciales no bastaban, y se imponía la necesidad de proceder al derribo controlado y a la reedificación de la pieza arquitectónica completa. Ante esta coyuntura, el constructor debía optar entre demoler la obra y construir una completamente nueva o desmontar las piezas y volver a levantar la capilla, empleando en la medida de lo posible los elementos originales. Siempre teniendo en consideración el estado de las arcas capitulares, esta última alternativa se perfilaba como preferible, especialmente a los ojos del comitente, por el significativo ahorro que conllevaba.

Restauración arquitectónica en Galicia durante la Edad Moderna: formulación de una problemática

Existen destacados precedentes de arquitectos gallegos que, a la hora de intervenir en un edificio, deciden reutilizar piezas de la propia demolición, pese a que pertenezcan a estilos ya caducos (Castiñeiras González 1989–1990). Sirva como ejemplo la figura de Domingo de Andrade, predecesor de Fernando de Casas como arquitecto catedralicio, quien reutilizó un panel monolítico de un antiguo baldaquino gótico como dintel en su reforma de la Capilla del Espíritu Santo de la catedral compostelana, entre 1693 y 1695 (Taín Guzmán 1998, 135). Este procedimiento de «reciclado» de piezas preexistentes, relativamente habitual, se explica en la búsqueda de economizar gastos, aprovechando en la medida de lo posible fragmentos antiguos de obras ya desaparecidas o desmanteladas, y era especialmente asequible en las catedrales: edificios que, habiendo desarrollado una historia constructiva azarosa, marcada por sucesivas construcciones y ampliaciones, conservaban (y conservan en la actualidad) piezas sueltas procedentes de altares, pavimentos, capillas, mausoleos y todo tipo de monumentos pétreos demolidos en el pasado.

Una intervención de mayor similitud con los ejemplos que proponemos es la actuación del propio Andrade en las bóvedas góticas de la catedral de Lugo, de cuya ruina informa al Cabildo lucense en fecha indeterminada anterior a junio de 1695. El complejo proyecto consistía en reconstruir la mayor parte de las bóvedas góticas dañadas, respetando su forma original, y tratar de salvar algunas cubiertas mediante cimbras (Taín Guzmán 1998, 196–198). Aunque el maestro compostelano no dirigió personalmente las obras, elaboró trazas y un informe, seguidos fielmente por un artífice de su círculo, con el resultado que actualmente se observa. Como en los casos de las parroquias de presentación del Cabildo compostelano, aparece ya el factor económico como determinante decisivo para planificar una reconstrucción de estas características, salvando buena parte de la construcción medieval y sus materiales.

A la hora de analizar este tipo de intervenciones arquitectónicas, es inevitable a los ojos del historiador de la arquitectura recordar el concepto de «restaura-

ción en estilo», asentado a partir del siglo XIX en torno a la figura de Eugène Viollet-le-Duc (1814–1879) (González-Varas 2000, 158–172). Sin embargo, es preciso advertir que toda actuación de reconstrucción de un edificio llevada a cabo con anterioridad a la formulación teórica desarrollada en el siglo XIX no debe ser etiquetada como «restauración en estilo», sino que esta calificación debe hacer referencia al procedimiento empleado, y nunca a un sistema crítico de actuación. Dicho de otro modo, las causas de base que llevaban a un arquitecto del siglo XVIII a restaurar un edificio «en el estilo» que éste presentaba con anterioridad son completamente diferentes de la norma procedimental aplicada por un restaurador «en estilo» de la Edad Contemporánea.

Durante la Edad Moderna, en toda Europa se han llevado a cabo tareas de adecentamiento y renovación de edificios antiguos y medievales, mucho antes de que la restauración se convirtiese en una disciplina reglada con bases teóricas firmes. Al carecer de principios establecidos, cada artífice aplicaba su propio criterio a la hora de intervenir, observándose por regla general una total despreocupación a la hora de respetar o «preservar» el estilo histórico al que pertenecía dicha obra. Mayoritariamente, el principio que se aplicaba era el estrictamente económico, de una aplastante objetividad: si la situación monetaria lo permitía, se trataba de «actualizar» la arquitectura, a través de nuevas construcciones acordes con el estilo imperante en el momento, pero, en caso contrario, se amortizaría la nueva construcción «reciclando» materiales de la antigua. El ejemplo paradigmático de intervención arquitectónica en la Europa de la época es la demolición, en pleno Renacimiento, de la basílica constantiniana de San Pedro del Vaticano. Este edificio histórico de la cristiandad que fue sustituido por una arquitectura moderna sin el menor reparo por parte de Bramante y sus sucesores, pese a encontrarse en plena efervescencia de la revalorización la Antigüedad. Esto no significa que no se apreciasen en la vetusta arquitectura del pasado ciertos valores elevados de orden estético y cultural, dignos de respeto y admiración. De hecho, en el caso vaticano, como en tantos otros, se conservaron algunas piezas del antiguo edificio a modo de «relicario» de la arquitectura original. Pero ello no obstaculizaba un enfoque tremendamente funcional para el momento, que buscaba adecuar los edificios a las necesidades recientes, tanto de uso como estéticas.

Funcionalidad y ahorro de medios convergen también en el caso de los curatos de presentación del Cabildo como rasgos determinantes de las actuaciones reconstructivas durante la Edad Moderna. Al tratarse de templos de reducido tamaño, su tipología trataba de simplificarse para obtener una mayor solidez, adecuada al uso litúrgico, pero en claro ejercicio de austeridad y economía material. Por ello, es lógico que ante la tesitura de abordar una reconstrucción integral, se buscase, en la medida de lo posible, reaprovechar los materiales obtenidos del derribo, para lo cual el procedimiento óptimo era ajustarse a la forma original del edificio. De este modo, cada elemento constructivo volvía a ocupar su posición original en la estructura después de la intervención, y sólamente era necesario labrar nuevas piezas en caso de pérdida o deterioro extremo de las anteriores. Se reconstruía de esta manera empleando los materiales originales, y reintegrando aquellas piezas dañadas antes o durante la restauración. Esta metodología resulta verdaderamente muy similar a la utilizada en las reintegraciones «en estilo» del siglo XIX, salvo por el importante matiz de que los seguidores de Viollet-le-Duc buscaban alcanzar la «forma prístina» ideal, el aspecto original que el edificio debía haber tenido, aunque en la práctica nunca se hubiese alcanzado dicha forma perfecta. Este fundamento teórico, como era de esperar, no está presente en las intervenciones de los arquitectos gallegos realizadas en templos medievales. Pero sí surge este concepto de «forma prístina» como necesidad procedimental en dos de las intervenciones llevadas a cabo por Fernando de Casas en curatos capitulares.

Fernando de Casas y sus «restauraciones en estilo»: Santa María de Dexo y Santa Eulalia de Lubre

El 30 de septiembre de 1732, el canónigo magistral José Varela Bermúdez acude, asistido por el maestro de obras catedralicio Fernando de Casas,[6] a informar del estado de la capilla mayor de la pequeña iglesia románica de Santa María de Dexo (Oleiros-A Coruña), por orden del Cabildo, tal como era costumbre (Documento 2). Casas considera que el desplome de los elementos constructivos era de importancia suficiente como para recomendar una reconstrucción completa, señalando que ésta debe hacerse « . . . des-

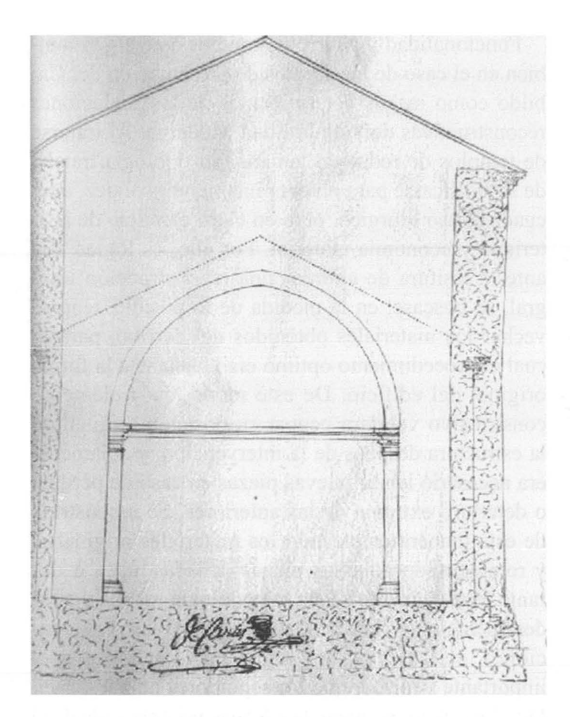


Figura 3
Santa María de Dexo. Alzado de la capilla mayor, por Fernando de Casas (1732) (Taín Guzmán 1999)

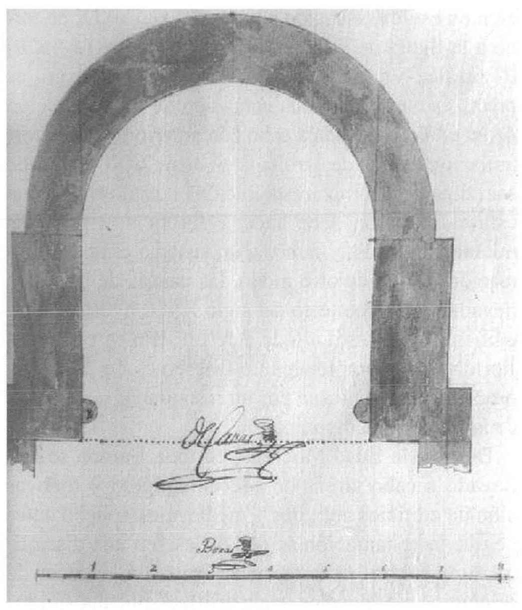


Figura 4
Santa María de Dexo. Planta de la capilla mayor, por Fernando de Casas (1732) (Taín Guzmán 1999)

de los fundamentos . . . siendo en la forma y tamaño del largo, ancho y alto que oy tiene», para lo cual adjunta planta y alzado del estado primitivo de la capilla (figs. 3 y 4), y redacta un pliego de condiciones para ser tenidas en cuenta por el artífice que finalmente acometa la obra (Documento 3), donde insiste en la conservación formal: « . . . [ha de ser] la forma de dicha bóveda como oy le tiene, que es una porción de medio cañón punto subido y la otra esférica, o quarta porción de naranja».

El propio Fernando de Casas reconocerá como bien ejecutada la reedificación, llevada a cabo por el maestro de obras Andrés Martínez, según informe de 25 de enero de 1734, donde se señala que apenas faltaba el tejado por rematar (Documento 4). La capilla mayor ha conservado hasta la actualidad el aspecto derivado de esta intervención barroca (fig. 5), que se corresponde perfectamente con las trazas de Casas, pese a que el templo sufrió importantes alteraciones tras un incendio en 1903 (Yzquierdo Perrín 1991–1992, 109), como el regruesamiento del lienzo absidal, evidente si se comparan ambas plantas. El templo parroquial ha sido completamente restaurado en 1990–1991 (Soraluce Blond 1991–1992), intervención acompañada de un estudio arqueológico en el que se han localizado restos descontextualizados de un sillar decorado con una venera, resto probablemente de la antigua marca de propiedad capitular del inmueble.

En el caso de Dexo, la documentación es elocuente sobre el avanzado estado de ruina que presentaba el edificio en el momento de la visita, donde se da testimonio de que « . . . paredes y bóveda están aviertas y desplomadas en sumo grado . . . », motivo que aconseja la reedificación «a fundamentis» de todo el ábside. Al observar la planta y alzado del propio arquitecto, trazada para asegurar que la reconstrucción respetaba la forma, proporción y medidas de la capilla original, llama la atención que se nos dibuja un estado ideal de dicha capilla. Si bien el arquitecto no añade nada, como sí ocurrirá en el siglo XIX con los restauradores «en estilo», Fernan-

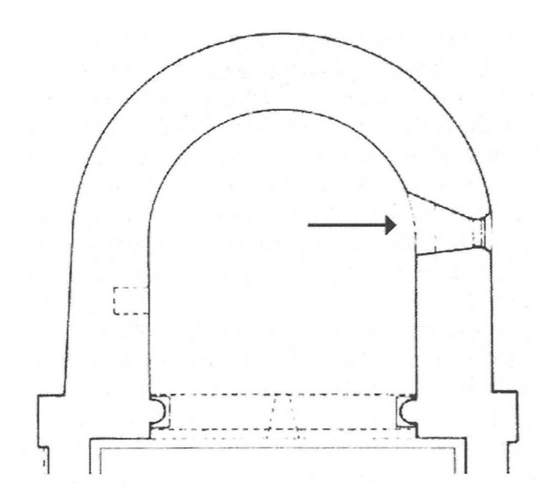


Figura 5
Planta actual del ábside de Santa María de Dexo, donde se señala el tragaluz abierto en el lado de la Epístola (elaborada a partir de Soraluce Blond 1991–1992)

do de Casas ofrece una visión del aspecto previo de la obra románica, con la intención de que su dibujo sirva para recuperar dicho estado. El artista practica una abstracción de la ruina inminente del edificio, olvida su lamentable situación, para describir mediante el dibujo la forma que la capilla debió tener en el momento de ser realizada o, cuando menos, la imagen anterior a su decadencia, en un verdadero ejercicio de restauración estilística, a una modesta escala. Su dibujo no es un proyecto, porque no tiene la intención de mostrar como debe quedar rematada la obra, sino de ilustrar con exactitud cómo era antes de desplomarse. La prueba de ello es que Casas no incluye en su traza el tragaluz en el lado de la Epístola que, en cambio, él mismo obliga a realizar en su pliego de condiciones, y que todavía se conserva, pese a las múltiples alteraciones sufridas por el edificio (fig. 5).

Todavía más explícito en el lenguaje empleado resulta el informe del 7 de septiembre de 1734 para Santa Eulalia de Lubre, otra de las iglesias parroquiales de presentación capitular (Documento 5). En dicho documento se detalla «que la bóveda de ella [de la capilla mayor] es de cantería, su forma de arista, guarnezida de rampantes o cruzería», y explica que la ruina de sus dovelas y elementos hubo de ser detenida temporalmente recurriendo a «apretar dichos rampantes con cuñas de madera». El procedimiento que ordena para la obra consiste en «bolber a sentar la bóveda, con el horden y forma que oy tiene, añadiéndole las piezas de cantería que nezesitare nuebas». De esta manera, Fernando de Casas ordena una meticulosa reedificación, respetando el estilo original, y procediendo además a una restitución de las piezas dañadas, labor que hoy resulta prácticamente imposible de valorar, pues el templo ha sufrido, como en el caso anterior, sucesivas y radicales intervenciones, pese a las cuales son todavía visibles al exterior dos estribos que recuerdan a los descritos en el informe.

Apéndice Documental

Documento 1. Orden de visitar la capilla mayor de Santa María de Ons (1647) (A.C.S., VCT nº1, 273r)

Cavildo de 13 de abril de 1647.

En este cavildo los dichos señores ordenaron que Marcos García de Medina, mayordomo de la mesa capitular, de lo procedido de las oxas del racionero Zelgas retenga en su poder cinquenta ducados para el reparo del coro de la yglesia de Santa María de Ons, cuya presentación deste beneficio es del cabildo y anexo a su tenencia de la Condomina, por estar como hestá con ruyna. Y para que se trate de su reparo nonbraron al señor don Pedro Pardo de Andrade para que lo baya a visitar y trayga relación dello al cabildo. Y así lo acordaron y el señor presidente lo firmó.

Don Melchor Sarmiento. Pasó ante mí Domingo de Leirado.

Sacose del libro cappitular y lo firmó.

Domingo de Leirado

Documento 2. Visita a Santa María de Dexo (1732) (A.C.S., VCT nº6, 402r)

Cavildo de 1º de octubre de 1732

Con horden de el yllustrísimo señor presidente y cavildo de esta Santa, Appostólica y Metropolitana Yglesia de señor Santiago, el señor Don Joseph Va-

rela Bermúdez, canónigo magistral de esta dicha Santa Yglesia, con asistencia del maestro Fernando de Cassas, passó a la yglesia parroquial de Santa María de Dejo, a rreconocer la capilla mayor de dicha yglesia. Y aviéndola reconocido con toda atención y cuidado, alló que las paredes de ella, pilares, arco toral y pinchón son de cantería por dentro y fuera, y la bóveda de rajuela, cuyas paredes y bóveda están aviertas y desplomadas en sumo grado, y con evidente amenaza de ruina, lo que fue causa de quitarle el retablo y custodia, y poner el santíssimo en un colateral, en donde está con reparable yndecencia, para cuyo remedio es precisso redficar [sic] dicha capilla desde los fundamentos, cuya redficación, siendo en la forma y tamaño del largo, ancho y alto que oy tiene, que es según la planta y alzado adjunta, y con las condiciones que para ella ban echas, tendrá de coste tres mill y ducientos reales vellón. Santiago y septiembre 30 de 1732.

Fernando de Cassas y Noboa

Documento 3. Condiciones redactadas por Fernando de Casas para la reedificación de la capilla mayor de Santa María de Dexo (1732) (A.C.S., VCT nº6, 403–404)

Cavildo de 1º de octubre de 1732

Condiciones que ha de obcervar el maestro que tomare a su cargo la redficación [sic] de la capilla mayor de la yglesia parroquial de San[ta] María de Dejo.

1ª Es condición que a de dar fianzas, legas y abonadas, a satisfación del yllustrísimo señor cavildo o quien su poder hubiere, de dar en todo cumplimiento de lo expressado en estas condiciones.

2ª Que la cantidad en que fuere rematada la a de rezivir en tres plazos, el primero al principio, el segundo theniendo las paredes lebantadas para rezivir la bóveda, y el terzero después de fenezida toda la obra, y vissitada y aprobada por el maestro o maestros que mandare el yllustrísimo señor cavildo.

3ª Que a de demoler toda dicha capilla asta lo sólido de la peña, en donde a de principiar los zimientos con buen argamassa de cal y arena de mina, y no de arenal de la mar, cuya argamassa a de ser de dos partes de arena y una de cal, esto es para el mazisso de dichas paredes y para el asiento de la cantería y caleado de la bóveda, partes yguales.

4ª Que dicha capilla a de thener el mesmo largo, ancho y alto que oy tiene, y los gruessos de las paredes según uno y otro se miden por pitipié en la plante y alzado, cuyas paredes y pichón an de ser de cantería por dentro y fuera, por thener bastante para ello sin nezessitar de otra, pues aunque se desperdicie alguna al demolerse, tiene la de los tres estribos para suplir la falta, cuyos estribos se escussan con los gruessos que se miden en la planta, executándose en devida forma.

5ª Que la bóveda a de ser de buena rajuela y buen argamassa, como ba expressado, y la forma de dicha bóveda como oy le tiene, que es una porción de medio cañón punto subido y la otra esférica, o quarta porción de naranja, la qual bóveda se a de mazisar en proporción para, sobre de ella, sentar la teja, la que por las orillas y cumbre se a de sentar con cal y echar la teja que faltare nueba y de buena calidad.

6ª Que todas las juntas de la cantería se an de rebocar con cal fina, cuya cantería no estará obligado a labrar ni blanquear, sino conforme está, salbo haya que recorrer algunas juntas o lechos y sobre lechos para abenirlas en el asiento con decencia; sí que por adentro la a de blanquear con cal y juntamente la bóveda, que se ha de dar de llana.

7ª Que a de azer un tragaluz al lado de epístola para dar luz a la messa de elaltar, cuyo tragaluz a de ser de media bara de ancho y tres quartas de alto, con su reja de hierro y vidriera fijada, y azer la messa de altar en la forma que oy está y nibelar el losado.

8ª Que en casso que al tiempo de vissitarse se alle alguna nulidad, la a de remediar a su costa, con todos los gastos que se causaren, por manera que el yllustrísimo señor cavildo no estará obligado a pagar más cantidad de la en que fuere rematada dicha obra, ni matheriales algunos, ni ofiziales, ni otra servidumbre de quanto sea menester para dicha redficación, asta que sea vista y aprovada por maestro y maestros, cuya aprovación pagará dicho yllustrísimo señor Cavildo.

9ª Que toda la broza que se causare de la obra la a de echar fuera, en parte donde no haga daño, y dar toda dicha obra acabada en la conformidad expressada en estas condiziones y planta en todo, el mes de jullio del año que viene de mill sietecientos y treinta y tres, sin repitit, engaño ni tassa.

Santiago y septiembre treinta de mill sietecientos y treinta y dos.

Fernando de Cassas y Noboa

Documento 4. Revisita a Santa María de Dexo (1734)
(A.C.S., VCT nº6, 478r)

Cavildo de 20 de febrero de 1734.

Yllmo. S.

De horden de Vuestra Señoría Yllustrísima e passado a la yglesia parriquial [sic] de Santa María de Dejo, a reconocer si Andrés Martínez thenía cumplido con la redficación de la capilla mayor de dicha yglesia, según tiene echa obligación por planta y condiciones con que Vuestra Señoría Yllustrísima le hizo el remate, las que tube pressentes al reconozer dicha capilla. Y allé que en todo se arregló y cumplió, excepto que falta el sentar la texa de las orillas y cumbre con cal, como lo previene la quinta condición, echar tres moyos de teja más de que necessita, y dar mejor blanco a los caleados de las paredes por adentro y al de la bóveda, cuyas faltas promete dicho Martínez emendar. Y en ynterín se podrán rethener cien reales asta que de ello trayga certificación de el cura, quien se ofreció darla quando lo tenga echo. Es lo que e visto y reconozido, y repressento a Vuestra Señoría Yllustrísima para que en ello tome la providencia que fuer servido. Santiago y henero, 25 de 1734.

Fernando de Cassas y Noboa

Documento 5. Visita a Santa Eulalia de Lubre (1734)
(A.C.S., VCT nº6, 486–488)

Cavildo de 15 de septiembre de 1734.

Yllustrísimo señor:

En cumplimiento de el horden que Vuestra Señoría Yllustrísima me a dado, passé a la villa de Ares a reconozer la capilla mayor de aquella parroquial yglesia de Legubre [sic]. Y avié[n]dola reconozido, allé que la bóveda de ella es de cantería, su forma de arista, guarnezida de rampantes o cruzería, la qual, por flaqueza de las paredes, a echo pisso, de que resultó el abrirse por los lechos o juntas de las dobelas y rampantes en diferentes partes, por que fue prezisso antes de aora apretar dichos rampantes con cuñas de madera. Y sin embargo de esta diligencia se cayó uno de ellos, y otros están con el mismo riezgo, para cuyo remedio es precisso demoler dicha bóveda y echar dos estribos de cantería en los dos esquinales, de a quatro quartas y media de gruesso y cinco de salida de la superficie de las paredes, y de alto hasta el lecho de la cornixa, en donde ha de rematar con escarpe. Para cuyo estribo se a de buscar el sólido de la peña para azer el zimiento, que ha de ser de cal y canto asta la superficie de la tierra, en donde a de empezar la cantería, labrada y travada a trechos con la de las paredes, guardando el horden de el alto de las hiladas de ellas, y mazissadas y fijadas con buen argamás de cal y arena. Y de echos dichos estribos en la manera y forma referida, bolber a sentar la bóveda, con el horden y forma que oy tiene, añadiéndole las piezas de cantería que nezesitare nuebas, y recorrer los lechos o juntas, y que queden bien fijados con buena argamás de cal y arena, y mazissados los ángulos asta el tercio de la bóveda, con lo qual quedará con las paredes todo firme y permanente.

Y asimismo necessita para la armazón dos tiradores, dos cruzetas con sus puentes, todas las clavaderas, tres tercios dos dozenas de cangos, medio ciento de ripa y quatro moyos de teja, y sentar la de la cumbre y limatessas o aguieyros con cal y un cordón de lo mismo por los beiriles; y echar topetes de pizarra, en ranurados, en la pared de sobre el arco toral, para defenssa de las aguas que arrast[r]an por ella y passan a la bóveda.

Es el estado en que allé dicha capilla mayor, y los reparos de que nezessita para su manutención y premanencia [sic], los quales, bien executados en la forma referida, tendrán de coste dos mill ochocientos y quarenta reales de vellón. Santiago y septiembre, siete de mill sietecientos y treinta y quatro.

Fernando de Cassas y Noboa

Notas

1. Las tenencias también podían aglutinarse atendiendo a otros criterios, como aquellas agrupadas en función del género de frutos que producían: tales son los casos de las tenencias de «Quinza» y la del «Vino de Padrón», que agrupaban propiedades vinícolas y, posiblemente, efectuaban el pago de su producción en especie. Otras agrupaciones de propiedades, en cambio, producían beneficios monetarios que se empleaban para sufragar un gasto concreto, siendo esta finalidad el factor que las distinguía de las demás. Llamativos ejemplos de este segundo caso son la tenencia «de las Cenas», cuyo numerario se dedicaba a pagar las cenas cotidianas de los canónigos, o la del «Cirial», destinada a mantener el ci-

rio del altar mayor de la catedral (Pérez Rodríguez 1996, 206).

2. De manera general, las obligaciones con respecto al estado del edificio se distribuían de esta manera, si bien en la práctica, dada la abundancia de parroquias bajo patronato capitular, la situación era de una mayor complejidad. Era habitual que los párrocos demandasen repetidamente al Cabildo una aportación económica que no terminaba de llegar, lo que provocaba que, en muchos casos, las capillas mayores estuviesen en estado ruinoso a la hora de intervenir finalmente en ellas. Por su parte, los visitadores hacían observaciones sobre las obras que el párroco debía acometer, las cuales quedaban registradas en el *Libro de fábrica* parroquial. Pero las parroquias, por motivos económicos, rara vez alcanzaban ese estado «ideal» de conservación, hasta el punto de que abundan los casos en los que una obra es demandada por el visitador, incluso visitadores sucesivos, durante varios años antes de ser llevada a término.
3. Generalmente, las parroquias bajo patronato del Cabildo son de origen medieval, muchas de ellas fundadas en los primeros momentos del fenómeno jacobeo (López Alsina 1988, 235–238) y otras procedentes del los siglos XII-XIV, época de la consolidación del señorío de Santiago a través del citado sistema de «tenencias», momento en que fueron adquiridas o recibidas en donación (Pérez Rodríguez 1994, 171–186).
4. Aunque el ideal constructivo del momento aconsejaba generalizar el uso de la piedra para el conjunto del edificio eclesiástico, al ser más segura y firme ante los daños meteorológicos y el omnipresente riesgo de incendio (cotidiano antes de la llegada de la electricidad), en el caso de las parroquias rurales gallegas se recurría a menudo a la madera como material más económico y accesible. Además, las estructuras lígneas requerían también un menor gasto, pues podían ser realizadas por un carpintero local, sin necesidad de involucrar en la obra a una cuadrilla de canteros. En el caso concreto de las parroquias de presentación compostelanas, se observa en ocasiones la presencia de capillas mayores edificadas en piedra, sufragadas por las arcas catedralicias, culminando templos construidos en lo restante con materiales más modestos, en aquellas partes que eran responsabilidad económica del párroco.
5. El maestro de obras de la catedral visitaba y presupuestaba las obras de mantenimiento y reparos, por someras que estas fuesen, pero cuando se precisaba una actuación más radical solía redactar un detallado pliego de condiciones para, posteriormente, dejar la obra en manos de alguna cuadrilla de constructores local, siguiendo el procedimiento habitual en la época (Taín Guzmán 1997, 44–100).
6. Sobre Fernando de Casas y su dimensión como figura clave de la historia de la arquitectura en Galicia supone una referencia obligada la reciente Tesis Doctoral de Alberto Fernández González (2006), de inminente publicación.

LISTA DE REFERENCIAS

Blanco, F. [1578] 1781. *Constituciones Capitulares . . .* (Reimpresión) Imprenta de Aguado. Santiago de Compostela.

Bonet Correa, A. [1966] 1984. *La arquitectura en Galicia durante el siglo XVII*. Madrid.

Castiñeiras González, M. A. 1989–1990. La reutilización de piezas romanas y medievales en Galicia. *Brigantium*. 77–90.

Fernández González, A. 2006. Fernando de Casas y Novoa, arquitecto del barroco dieciochesco (Tesis Doctoral).

González-Varas, I. 2000. *Conservación de bienes culturales. Teoría, historia, principios y normas*. Madrid.

Goy Diz, A. 1998. *Artistas, talleres e gremios en Galicia (1600–1650)*. Santiago de Compostela.

López Alsina, F. 1988. *La ciudad de Santiago de Compostela en la Alta Edad Media*. Santiago de Compostela.

Pérez Rodríguez, F. J. 1994. *El dominio del Cabildo catedral de Santiago de Compostela en la Edad Media (Siglos XII-XIV)*. Santiago de Compostela.

Pérez Rodríguez, F. J. 1996. *La iglesia de Santiago de Compostela en la Edad Media: el Cabildo Catedralicio (1110–1400)*. Santiago de Compostela.

Soraluce Blond, J. R. 1991–1992. La restauración de la iglesia románica de Santa María de Dexo. *Abrente*. A Coruña. 89–106.

Taín Guzmán, M. 1992. Los informes de los canónigos visitadores de hacienda y de los aparejadores y maestros de obras de la Catedral de Santiago en el siglo XVIII. *Compostellanum*, vol. XXXVII. Santiago de Compostela. 549–601.

Taín Guzmán, M. 1997. *Los arquitectos y la contratación de obra arquitectónica en la Galicia Barroca (1650–1700)*. Sada.

Taín Guzmán, M. 1997. *Domingo de Andrade, Maestro de Obras de la Catedral de Santiago (1639–1712)*. 2 vols. Sada-A Coruña.

Taín Guzmán, M. 1999. *Trazas, planos y proyectos del Archivo de la Catedral de Santiago*. A Coruña.

Yzquierdo Perrín, R. 1991–1992. Santa María de Dexo. *Abrente*. A Coruña. 109–121.

Piezas singulares de cantería en la ingeniería y la arquitectura militar de Cartagena en el siglo XVIII

José Calvo López

La cantería española del siglo XVI y comienzos del XVII ha sido analizada por numerosos estudios que han puesto de manifiesto su originalidad e importancia en el contexto europeo. Por el contrario, los estudios sobre la estereotomía española del siglo XVIII son prácticamente inexistentes, quizá por entender que la construcción pétrea española del período se limita a aplicar modelos franceses.

A lo largo del siglo XVIII, el establecimiento en Cartagena del Departamento Marítimo del Mediterráneo dio lugar a la reconstrucción de las murallas de la ciudad, acompañada de la implantación de fortalezas, cuarteles y otros edificios militares, que ha sido estudiada por diversos historiadores. Sin embargo, un aspecto concreto de estas construcciones ha pasado prácticamente desapercibido hasta ahora. Existen piezas singulares de cantería, como arcos en talud, en ocasiones esviados y abocinados, en varios puntos de la fortificación, como las Puertas del Socorro y San José o los tramos de la Muralla del Mar y la rambla de Benipila, y también en los castillos de los Moros y Galeras, así como un excepcional conjunto de bóvedas peraltadas de arista y de lunetos en el Hospital de Marina.

El presente trabajo aborda el estudio de estas piezas, con ayuda de los levantamientos pertinentes, el análisis de las soluciones estereotómicas aplicadas y la comparación con las propuestas de diversos tratados y manuscritos de construcción pétrea, para obtener una visión más precisa de esta faceta de la práctica constructiva española y sus posibles relaciones con la esterotomía francesa.[1]

Arcos en talud

Los arcos en talud ocupan un lugar importante en los textos de la estereotomía clásica, desde los primeros textos sistemáticos de la cantería moderna, como los de De L'Orme (1567, 78v-79v), Vandelvira (1580, 23v-24r), Martínez de Aranda (1600, 53–60) y Jousse (1642, 26–33), hasta los tratados de Derand ([1643] 1755, 23, 33, 77–78, 84–88) De La Rue ([1728] 1738, 12–14) y Frézier (1737, 2: 142–161). Resulta particularmente importante el papel de estas piezas en el folleto de Desargues (1640) y el volumen de Bosse (1643), que se centran en la resolución por un mismo procedimiento de los arcos esviados, los abiertos en muros inclinados y los que tienen un eje en pendiente o *decendas de cava*.

El problema geométrico en sí es relativamente simple: se trata de cortar un cilindro circular por un plano oblicuo al eje, lo que dará en principio una elipse como intersección. Esta operación geométrica se puede entender también como la proyección de un arco de medio punto dispuesto en un plano vertical sobre el plano inclinado del talud; el arco se deformará a causa de la proyección sobre este plano oblicuo y se convertirá en una elipse.

En el Renacimiento, tanto Alonso de Vandelvira (1580, 23v-24r) como Ginés Martínez de Aranda (1600, 57–59) dan soluciones eficaces a este problema. Siguiendo a este último, más claro y completo, el problema se puede resolver sin más que trazar el alzado del arco de medio punto, la sección del talud

rectriz del paso, resulta oblicuo a la línea de arranque del talud. Se trata, sin embargo, de una temática bien conocida en la literatura de la cantería, desde el manuscrito de Aranda al tratado de Frézier. De hecho, Martínez de Aranda (1600, 59–60) ofrece dos soluciones al problema: en una de ellas el plano vertical de la cara posterior del muro es perpendicular al eje del arco y en otra es paralelo a la línea de arranque del talud. En la primera de estas trazas, que corresponde a grandes rasgos al problema planteado en la puerta del Socorro, Aranda resuelve el problema con una sorprendente economía de medios. Como en el caso del arco en talud recto, traza la planta, la sección recta del arco y una sección del talud, que aquí no se toma por un plano perpendicular a la línea de arranque del talud, sino por un plano vertical que pasa por el eje del arco. Ahora bien, Aranda va a reutilizar esta sección para varios planos verticales paralelos a éste, aprovechando que las secciones del plano del talud por los planos paralelos son paralelas entre sí. Planteado así el problema, Aranda puede emplear sin más el método simple que acaba de proponer para el arco recto en talud: le bastará con trazar las rectas proyectantes de cada vértice de dovela, que coinciden con las juntas de intradós y están confundidas con las líneas de referencia que unen la planta y la sección recta; y a continuación, llevar a estas líneas de referencia las distancias horizontales entre los vértices y la línea de arranque del talud, que puede tomar sin más del talud, aprovechando que esta sección es válida para toda una familia de planos paralelos. Un técnico de nuestros días, formado en la Geometría Descriptiva, construiría al menos las secciones del plano de talud por cada uno de los planos verticales que pasan por los vértices de las dovelas; por el contrario, Aranda se limita a emplear, por así decirlo, una sección flotante, lo que le permite resolver el problema con una gran economía de trazado, que resulta esencial si pensamos que estas monteas se realizaban a tamaño natural, por lo común en el suelo y en ocasiones debajo del arco que se pretendía construir.

Frente a esta solución simple, Frézier (1737, 2: 152–158) se plantea de nuevo dar forma circular al arco de testa, abatiendo el plano del talud, trazando la embocadura en el abatimiento y restituyendo el resultado, lo que le lleva a una disposición sorprendente, puesto que la sección recta será elíptica, pero no simétrica respecto al plano vertical que pasa por el eje del hueco, puesto que sus ejes serán inclinados. No parece que este modelo se siga estrictamente en el arco de la puerta del Socorro, que tiene la testa en arco escarzano, con la cara superior irregular, como

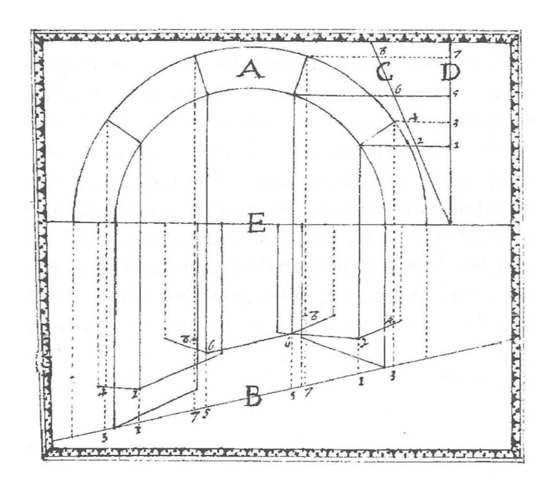


Figura 3
Arco en talud esviado. (Martínez de Aranda 1600)

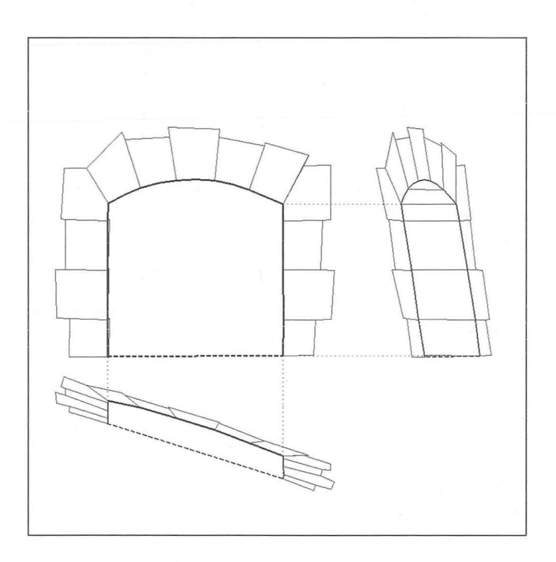


Figura 4
Embocadura exterior de la puerta del Socorro, en la Muralla de Carlos III. Planta, alzado y perfil. Levantamiento del autor

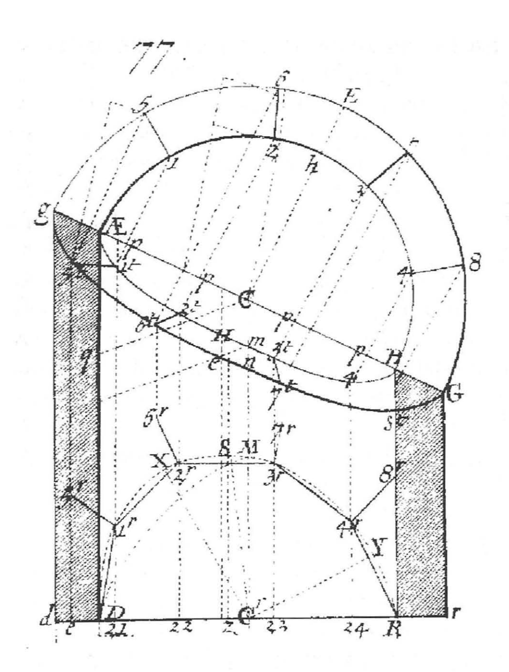


Figura 5
Arcos en talud. (Frézier 1737)

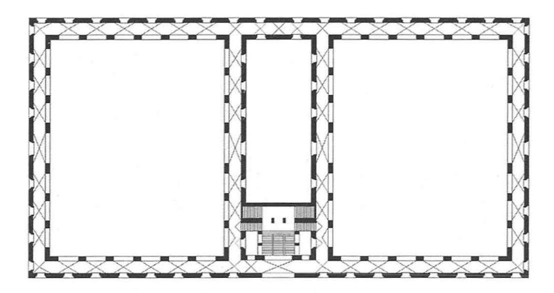


Figura 6
Planta de las bóvedas de arista encadenadas en las galerías perimetrales de la planta baja de los patios del Hospital de Marina. Esquema del autor sobre un plano de Martín Lejárraga y Francisco Ruiz Gijón

en la puerta de San José o la poterna; este desinterés por los trasdoses contrasta con la ejecución relativamente cuidada de las jambas y el intradós del arco.

Las bóvedas peraltadas del Hospital de Marina

El Hospital de Marina de Cartagena, construido entre 1749 y 1762 por el ingeniero militar Sebastián Feringán (Soler [1993] 1999, 12, 26, 28; Gómez y Munuera 2004, 178), se articula en torno a dos grandes patios rodeados de galerías abiertas. Estos corredores se cubren en la planta baja mediante unas singulares bóvedas de arista encadenadas, de sección peraltada, realizadas en la arenisca local o *tabaire*. Además existen otros dos tramos más cortos que unen ambos patios. En las dos plantas superiores las bóvedas presentan un trazado muy semejante, pero actualmente están revocadas; probablemente se construyeron en ladrillo para reducir gastos. También existen algunos capialzados reglados en el Hospital, así como en el Cuartel de Antiguones.

Centrándonos en las bóvedas de la planta inferior, se emplean tres *cimbras* o curvaturas diferentes, pues la testa de los arcos centrales de las pandas que miran a levante y poniente viene dada por un arco carpanel, mientras que los arcos restantes son de medio punto, de tal manera que unos y otros tienen las claves a la misma altura. Ahora bien, el ancho del corredor es menor que la luz de los arcos de medio punto. El problema se podría haber resuelto mediante bóvedas de lunetos, pero Feringán evita esta figura, salvo en algunos puntos próximos a los corredores que enlazan ambos patios, y de nuevo coloca las claves de unas bóvedas y otras a la misma altura.

El levantamiento por fotogrametría monoscópica realizado con ocasión de este trabajo ha permitido determinar que la sección de las bóvedas longitudinales es elíptica. De esta manera, las bóvedas quedan generadas por las semielipses peraltadas de la sección recta de las bóvedas longitudinales y las testas de las bóvedas transversales, que son circulares en la mayoría de los casos, excepto en los arcos centrales, donde vienen dadas por arcos carpaneles. Cada una de estas directrices genera un cilindro circular o elíptico y las intersecciones vienen dadas por semielipses rebajadas, materializadas por las aristas de la bóveda. La ejecución es en general bastante cuidada; incluso algunos detalles llamativos, como ciertos vértices de dovelas que quedan algo separados de la arista, demuestran cierto sentido práctico, pues así se evita un borde agudo que podría mellarse durante el transporte o la colocación de la dovela.

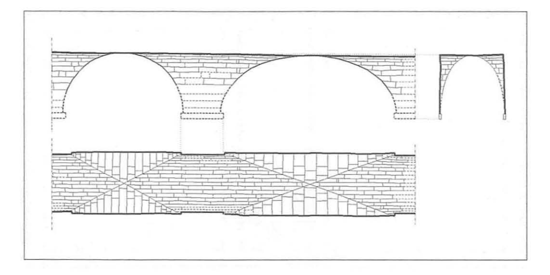


Figura 7
Bóvedas de arista en la planta baja del Hospital de Marina. Planta, sección longitudinal y sección transversal de un tramo ordinario, con la embocadura de la bóveda transversal en arco de medio punto; y un tramo central, con la embocadura en arco elíptico rebajado. Levantamiento del autor

A primera vista, podríamos pensar que la elección de la sección elíptica se debe exclusivamente a la intención de acordar las bóvedas sin necesidad de emplear lunetos. Ahora bien, Blondel (1675, 4: 418–420) recomienda emplear arcos peraltados por su menor empuje, presentando un gráfico muy ilustrativo basado en una regla de cálculo de empujes que recomienda igualar el ancho de los estribos a la proyección horizontal del primer tercio del desarrollo del arco. Por tanto, podemos entender que las bóvedas peraltadas de Feringán pretenden resolver al mismo tiempo un problema formal y otro estructural.

Tanto las semielipses peraltadas como la regla del tercio del desarrollo eran bien conocidas en la tradición hispánica; de hecho, la regla se aplica con frecuencia a los arcos de medio punto, en España y fuera de ella (Gil de Hontañón 1550, 18v-19; Huerta 2004, 142–148). La extrapolación de la regla a otro tipo de arcos, como los escarzanos y apuntados aparece por primera vez explícitamente en los *Cerramientos y trazas de montea* (Martínez de Aranda 1600, 5–6). Aranda no emplea los arcos elípticos peraltados para ilustrar la regla del tercio, pero abre los *Cerramientos* (Martínez de Aranda 1600, 1–2) generalizando los métodos de construcción de elipses de Durero (1525, 15v), Serlio (1584, 1: 11v) y De L'Orme (1561, 13r-13v) para obtener semielipses peraltadas y no sólo rebajadas; además, Aranda empleó arcos elípticos peraltados en la reconstrucción de la iglesia de Santa Cruz de Cádiz tras el asalto inglés de 1596, probablemente para afrontar los pies forzados impuestos por los elementos conservados de la iglesia (Calvo 2002, 420–426; Calvo 2005).

También resultan significativas para nuestros propósitos las soluciones de Vandelvira y Aranda para las bóvedas en rincón de claustro y acodadas. El *Libro de trazas de cortes de piedra* ofrece una *Capilla por arista perlongada*, que en realidad corresponde a lo que hoy llamaríamos una bóveda esquifada (Vandelvira 1580, 80v). Los arcos generadores de los dos semicilindros que forman la bóveda tienen luces diferentes, pero han de tener las claves a la misma altura; Vandelvira resuelve el problema dando al arco mayor forma de semielipse rebajada. Otro tanto ocurre con el *Rincón de claustro desigual*, que corresponde a una bóveda acodada con cañones de luces diferentes (Vandelvira 1580, 26r). Frente a esta opción, Martínez de Aranda (1600, 87–88) propone con cierta timidez la solución inversa, dando un trazado elíptico peraltado al brazo menor y directriz circular a la bóveda mayor; resulta significativo comprobar que el dibujo de Aranda representa tanto las dos testas rebajadas del arco que resuelve el encuentro entre

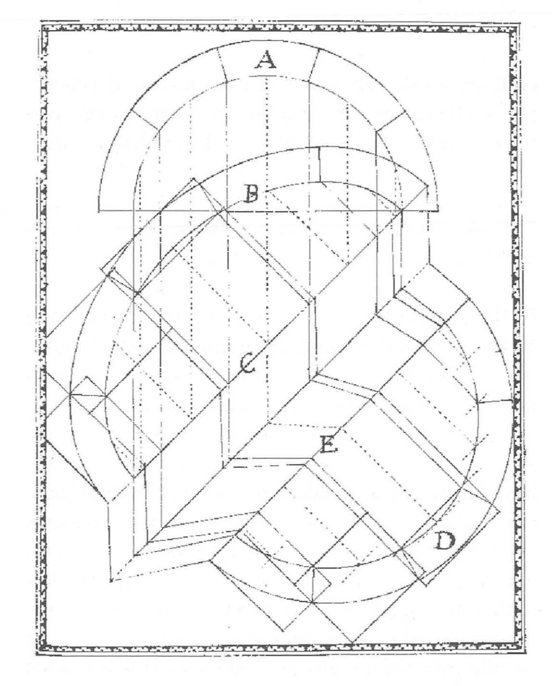


Figura 8
Arco en rincón de claustro. (Martínez de Aranda 1600)

ambas bóvedas como la sección circular del cañón mayor, pero no la sección del cañón menor, que ha de ser necesariamente una semielipse peraltada. El método de Aranda reaparece en Frézier (1737, 3: 25), que resuelve la bóveda acodada dando sección circular al cañón mayor, lo que le lleva a obtener una sección elíptica rebajada en la arista y peraltada en el cañón menor.

Como he expuesto en otro trabajo (Calvo 2002; Marías 2005), existen arcos elípticos peraltados en el Escorial, anteriores a la redacción de los *Cerramientos* y la reconstrucción de Santa Cruz de Cádiz; más adelante, el jesuita François Derand, autor de un tratado de cantería muy divulgado, *L'architecture des voûtes*, empleó estos arcos en la iglesia parisina de Saint-Paul-Saint-Louis y los incluyó en su tratado como ilustración de la regla de cálculo de Aranda y Blondel, por referencia al mismo autor al que nos referíamos más arriba, que una vez más la incluye en su obra empleando arcos elípticos peraltados como ilustración (Derand [1643] 1755, 10; Evans 1995, 213–214). Entrando en el terreno de la hipótesis, podríamos pensar que el interés por esta temática pasó de El Escorial y la Academia de Matemáticas impulsada por Herrera al Colegio Imperial madrileño, vinculado a la Compañía de Jesús, un centro esencial en la historia de la ciencia española, con importantes contactos internacionales, y de ahí a Derand, Blondel y Frézier, que emplea semielipses peraltadas en más de una ocasión, si bien rechaza explícitamente la regla del tercio, como había hecho antes Bélidor. Por otra parte, tanto el Colegio Imperial como la Academia de los tiempos de Herrera son antecedentes indirectos de la Academia Militar de Matemáticas de Barcelona o la que se pretendió establecer en Sevilla (Marzal 1991, 185–189, 227, 511–512; Galindo 1996, 169–170); esto nos lleva a plantearnos el problema de la formación constructiva de los ingenieros españoles del siglo XVIII, que trataré en el próximo apartado.

Tradición hispánica y tratadística francesa

Sebastán Feringán exponía en un memorial a Juan Martín Zermeño redactado en 1756 que

> Me crié en la ciudad de Fraga . . . bajo la tutela de mi hermano mayor, Pedro . . . empleado en la cuenta y razón de la provisión de víveres que pasaban al ejército y sitio de Barcelona en que también asistí, después de haber hecho los estudios de latinidad y cursado, por genio e inclinación, con un sacerdote los primeros rudimentos de matemáticas . . . Y con la fábrica de la ciudadela y trato de algunos ingenieros avivé mi aplicación a las matemáticas con un religioso de San Francisco y con el auxilio de los libros e instrumentos de que me proveí, porque en aquel tiempo no había Academia . . . Y aunque se me convidó para servir a los batallones que se formaron en el año 1718, no admití, pareciéndome . . . sería impediente para pasar al servicio del Cuerpo de Ingenieros, al que eficazmente llamaba mi inclinación. Y conseguí el empezar a servir de ingeniero voluntario en las obras de la ciudadela de Barcelona el 1 de Noviembre de 1718.

La Academia a la que se refiere el memorial es la Militar de Matemáticas de Barcelona, creada en 1700, cerrada a raíz de la Guerra de Sucesión y reestablecida en 1720; como consecuencia de estos avatares, Feringán no recibió una formación científica sistemática (Rubio y Piñera 1988, 125; Marzal 1991, 227–238, 1122–1125). Tampoco recibió Francisco Llobet una educación constructiva formal, pues empezó a servir en el Cuerpo de Ingenieros como delineador, también en Barcelona y precisamente en 1720, a pesar de lo cual llegó a ser Director de la Sociedad Militar de Matemáticas de Madrid entre 1756 y 1760. Hasta donde llega nuestro conocimiento, lo mismo se puede decir de Vodopich: tras servir en la compañía de Guardias de Corps de La Habana, ingresó en el Cuerpo de Ingenieros en 1736, pasando a Cartagena en 1749 bajo las órdenes de Feringán, con el que colaboró durante doce años, pasando a su muerte a dirigir las fortificaciones del reino de Murcia y las obras del Arsenal de Cartagena en 1761.

Entre los ingenieros que participaron en las piezas de cantería que venimos analizando, el único que asistió a la Academia de Barcelona fue Leandro Badarán; después de servir en varios destinos llegó a Cartagena entre 1786 y 1788, fecha en la que quedó encargado de la dirección de obras en marcha y labor de mantenimiento, dependiendo de Valencia, pues lo esencial del ambicioso programa de fortificación de Cartagena estaba concluido en ese momento, para ser destinado a Orán en 1790 (Rubio y Piñera 1988, 161, 175–177, 181; Marzal 1991, 1078–1079, 1122–1125, 1171–1169, 1258–1260).

Por todo esto, hemos de pensar que la formación constructiva de los ingenieros que participaron en la construcción de la base naval de Cartagena fue esen-

cialmente práctica; cuando llega a Cartagena un ingeniero formado en la Academia de Barcelona, Leandro Badarán, lo hace para mantener un sistema de edificios y fortificaciones que está terminado en lo esencial. Aún así, merece la pena repasar algunos datos acerca de las instituciones de enseñanza militar de la España del siglo XVIII, pues dada la estructura centralizada del Cuerpo de Ingenieros, la Academia de Barcelona desempeñó un papel de foco científico fundamental, complementado durante algunos años por la Sociedad madrileña. Hemos visto a Feringán excusándose por no haber asistido a la Academia de Barcelona y a Llobet dirigiendo la Sociedad; también es preciso tener en cuenta que los exámenes de ingreso en el Cuerpo de Ingenieros, que superó Vodopich en 1736, guardaban cierta relación con los programas didácticos de la Academia de Barcelona (Marzal 1991, 265–266, 373; Galindo 1996, 184).

La ordenanza de 1739, establece entre otras disposiciones que en el tercer curso de la Academia se había de explicar «la descripción de plantas, y perfiles de [las partes de un edificio], tanto rectos como oblicuos: la formación de las bóvedas y arcos más comunes: el empujo de ellos contra los pies derechos, o muros que los sostienen: y la robustez que estos han de tener para resistirle: la calidad de los materiales, y el modo de emplearlos en las construcciones de las obras: la forma de hacer seguros los cimientos sobre los distintos terrenos, en aguas corrientes o quietas . . . » (Capel, Sánchez y Moncada 1988, 128–130; Marzal 1991, 268–272, 289–292; Galindo 1996, 172–173). Igualmente interesantes resultan los párrafos de la ordenanza que establecen que para las demostraciones prácticas la Academia debería disponer de «dos escuadras grandes de madera; dos saltarreglas . . . dos pirámides cónicas, una recta y otra escalena, cortadas por diversas partes, para manifestar en sus secciones la elipse, la hipérbole y la parábola; dos cilindros, uno recto y otro escaleno, cortados por sus ejes . . . cinco arcos de diversos géneros divididos en las dovelas correspondientes»; en aplicación de estas disposiciones, Lucuce solicita fondos para adquirir los instrumentos en 1743, y en 1751 ya se disponía de ellos en número suficiente (Capel, Sánchez y Moncada, 1988, 134; Marzal 1991, 322–323, 349, 424–425).[2]

Por otra parte, se ha conservado un buen número de manuscritos que nos permiten conocer el desarrollo efectivo de la enseñanza en la Academia. Dejando aparte los de la primera época, bajo la dirección de Mateo Calabro, los más interesantes para nuestros propósitos son los apuntes de las clases impartidas según las directrices de Pedro de Lucuce, y en particular el tratado octavo, que versa sobre la Arquitectura Civil y trata entre otras cuestiones de la firmeza y seguridad de las construcciones, de los empujes de las tierras y del modo de hallar el grueso que se ha de dar a los muros y la manera de calcular la sección de los pies derechos para resistir el empuje de arcos y bóvedas, con láminas tomadas de Bélidor. Sabemos además que en esta época y durante las décadas posteriores se empleaba como libro de texto el *Compendio Matemático* del padre Tomás Vicente Tosca, tomado del *Cursus seu mundus mathematicus* de Milliet-Dechales; tanto uno como otro incluyen sendas partes dedicadas a los problemas geométricos del corte de piedras (Capel, Sánchez y Moncada, 1988, 220, 223–224, 226–231; Marzal 1991, 238–241, 330–333, 359, 381, 854–866, 870–880; Galindo 1996, 171, 174–181; Tosca 1707; Milliet-Dechales 1674).

Este programa didáctico estaba apoyado por una biblioteca relativamente amplia; la Academia de Barcelona contaba con *La practique du traict . . . de M. Desargues pour la coupe des pierres* . . . de Abraham Bosse, el *Cursus seu mundus mathematicus* del padre Milliet-Dechales, el *Compendio Mathematico* de Tosca y el *Traité de stéréotomie* de Frezier; a la disolución de la Sociedad de Matemáticas de Madrid llegan a Barcelona otro ejemplar de Frézier y *L'architecture des voûtes* de Derand. Además de éstos, la Sociedad madrileña contaba con la *Teórica y práctica de fortificación* de Cristóbal de Rojas, citado por Lucuce, que incluye diez folios con trazas de cantería, mientras que la Academia de Guardias de Corps contaba con otro ejemplar de Frézier. También merece la pena reseñar que la biblioteca de la Academia de Artillería de Segovia, fundada en 1764 como Colegio de Caballeros Cadetes, cuenta en la actualidad con ejemplares de Dechales y Frézier (Marzal 1991, 424, 502–505, 843, 865, 905–996).[3]

Valorar estos datos exige cierta prudencia. Es cierto que no existe en la Academia de Barcelona un curso de Teoría del Corte de las Piedras como el que Gaspard Monge impartió en la Escuela de Mézières (Sakarovitch 1995; Sakarovitch 1997, 241–247), pero también es preciso señalar el carácter pionero de la institución catalana, anterior en varias décadas

a la escuela de Mézières; como han señalado Capel, Sánchez y Moncada (1998, 171–174), esta prioridad se refleja en el orgullo del que hace gala Feringán al defender su propuesta de Arsenal frente a los ejemplos de Marsella y El Ferrol.

Llegados a este punto, hemos de ponderar en qué medida las piezas singulares de cantería de la arquitectura militar cartagenera derivan de una tradición hispánica o de la influencia de los tratados franceses. Más que una contraposición entre una y otra, habría que ver en ambas un carácter complementario. Los ingenieros que participaron en la construcción de la base naval de Cartagena, con la excepción de Badarán, que llega cuando el programa de fortificaciones está prácticamente terminado, se formaron en la práctica constructiva; pero necesariamente hubieron de conocer los programas educativos y las bibliotecas de Barcelona y Madrid. Consideremos el caso del *Caracol de Mallorca* del castillo de Galeras: se trata de un tipo constructivo de antigua tradición ibérica, pues su propia denominación lo vincula a la Lonja de Mallorca de Guillem Sagrera (Zaragozá 1992, 103–104); recogido después por Vandelvira (1580, 51r) y Aranda (1600, 246–247), pasa casi literalmente a Jousse (1642, 180–181) como *Vis à jour de pierre* y de ahí, más o menos transformado, a la práctica totalidad de los tratados franceses. Todo esto, como la evolución de los arcos en talud o las bóvedas peraltadas, nos hace pensar que los ingenieros españoles pudieron entender los tratados franceses como una confirmación y puesta al día de una tradición constructiva propia, en el marco de la reciprocidad de intercambios entre el ámbito hispánico y el francés de la que habla Pérouse de Montclos ([1982] 2001, 212), del mismo modo que los baluartes de Vauban encuentran un antecedente en los de Pedro Luis Escrivá y Cristóbal de Rojas.

Notas

1. Este trabajo se inscribe en los proyectos de investigación «Construcción en piedra de cantería en el ámbito hispánico. Fuentes documentales y patrimonio construido», del Ministerio de Educación y Ciencia, con referencia BIA2006–13649 e «Historia de la Construcción e Historia del Urbanismo en la Región de Murcia» de la Fundación Séneca. Agradezco vivamente a José Antonio Martínez y a Martín Lejárraga su generosidad al facilitarme la hoja de servicio de Pedro de Lucuce y otros muchos documentos y un plano del Hospital de Marina, respectivamente. La dirección de un trabajo de investigación sobre la arquitectura militar cartagenera, realizado en la Universidad Politécnica de Cartagena por Matilde Ortega, me ha dado ocasión de discutir con ella varios de los puntos que se abordan en este trabajo.
2. En la transcripción de la ordenanza por Capel, Sánchez y Moncada figura «divididos en *dos* dovelas correspondientes», pero podría tratarse de un error.
3. Respecto a Segovia, ver el Catálogo Colectivo del Patrimonio Bibliográfico Español, http://www.mcu.es/bibliotecas/MC/CCPB/index.html.

Lista de referencias

Blondel, François. 1673. *Résolution des quatre principaux problèmes d'architecture* . . . París: Imprimerie Royale.

Blondel, François. 1675–1683. *Cours d'architecture enseigne dans l'Academie Royale d'Architecture* . . . París: Roulland-Langlois.

Bosse, Abraham. 1643. *La practique du traict a preuues de M. Desargues pour la coupe des pierres en l'Architecture*. París: Abraham Bosse.

Calvo López, José. 2002. La semielipse peraltada. Arquitectura, mecánica y geometría en las últimas décadas del siglo XVI. En *El Monasterio del Escorial y la arquitectura*, 417–435. El Escorial: Instituto de Investigaciones Artísticas e Históricas.

Calvo López, José. 2005. La catedral vieja de Cádiz a la luz de los documentos del Archivo de Simancas. En *Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, 185–194. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Capel, Horacio; Joan Eugeni Sánchez y Omar Moncada. 1988. *De Palas a Minerva. La formación científica y la estructura institucional de los ingenieros militares en el siglo XVIII*. Madrid.

Derand, P. François. 1643. *L'Architecture des voûtes ou l'art des traits et coupe des voûtes*. París: Sébastien Cramoisy.

Desargues, Girard. 1640. *Brouillon project d'exemples d'une manière universelle . . . touchant la practique du trait a preuve pour la coupe des pierres* . . . París: Melchoir Tavernier.

Evans, Robin. 1995. *The Projective Cast*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.

Dürer, Albrecht. 1525. *Underweysung der messung mit dem zirkel und richtscheyt* . . . Nuremberg: s.e.

Frézier, Amédée-François. 1737–1739. *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois . . . ou traité de stéréotomie a l'usage de l'architecture*. Estrasburgo-París: Jean Daniel Doulsseker-L. H. Guerin.

Galindo Díaz, Jorge Alberto. 1996. *El conocimiento constructivo de los ingenieros militares españoles del siglo*

XVIII. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña.

Gerbino, Anthony. 2005. François Blondel and the «Résolution des quatre principaux problèmes d'architecture» (1673). *Journal of the Society of Architectural Historians*, 64, 4: 498–521.

Gómez Vizcaíno, Aureliano y David Munuera Navarro. 2004. La fortificación del siglo XVIII. En *Estudio y catalogación de las defensas de Cartagena y su bahía*, coordinado por José Antonio Martínez López y Ángel Iniesta San Martín. http://www.arqueomurcia.com.

Jousse, Mathurin. 1642. *Le secret d'architecture découvrant fidélement les traits géométriques, couppes et dérobements nécessaires dans les bastimens*. La Flèche: Georges Griveau.

L'Orme, Philibert de. 1561. *Nouvelles inventions pour bien bastir a petits frais*. París: Federic Morel.

L'Orme, Philibert de. 1567. *Le premier tome de l'Architecture*. París: Federic Morel.

La Rue, Jean-Baptiste de. 1728. *Traité de la coupe des pierres où par méthode facile et abrégée l'on peut aisément se perfectionner en cette science*. París: Imprimerie Royale.

Martínez de Aranda, Ginés. 1600. *Cerramientos y trazas de montea*. Ms. Servicio Histórico del Ejército, Madrid. Ed. facsimilar Madrid, Servicio Histórico del Ejército - CEHOPU, 1986.

Martínez López, José Antonio, David Munuera Navarro y Aureliano Gómez Vizcaíno. 2004. Catálogo de fortificaciones y baterías. En *Estudio y catalogación de las defensas de Cartagena y su bahía*, coordinado por José Antonio Martínez López y Ángel Iniesta San Martín. http://www.arqueomurcia.com.

Marías, Fernando. 2005. Cuando el Escorial era francés: problemas de interpretación y apropiación de la arquitectura española. *Anuario del Departamento de Teoría e Historia del Arte de la Universidad Autónoma de Madrid*, XVII: 21–32.

Marzal Martínez, Amparo. 1991. *La ingeniería militar en la España del XVIII, nuevas aportaciones a la historia de su legado científico y monumental*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid.

Marzal Martínez, Amparo. 2000. Cartagena, modelo de ingeniería militar del siglo XVIII. En *Historia de Cartagena*, VIII:423–456. Murcia: Mediterráneo.

Milliet-Dechales, P. Claude François. 1674. *Cursus seu mundus mathematicus*. Lyon: Anisson.

Pérouse de Montclos, Jean-Marie. [1982] 2001. *L'Architecture a la française*. París: Picard.

Rubio Paredes, José María. 1991. *La muralla de Carlos III en Cartagena*. Murcia: Academia Alfonso X.

Rubio Paredes, José María y Alvaro de la Piñera y Rivas. 1988. *Los ingenieros militares en la construcción de la base naval de Cartagena*. Madrid: Servicio de Publicaciones del Estado Mayor del Ejército.

Sakarovitch, Joël. 1995. The teaching of stereotomy in engineering schools in France in the XVIIIth and XIX centuries: an application of Geometry, an 'Applied Geometry', or a construction technique? En *Entre mécanique et architecture*, ediatado por Patricia Radelet-de Grave y Edoardo Benvenuto, 204–218. Berlín-Basilea-Boston: Birkhauser.

Sakarovitch, Joël. 1997. *Epures d'architecture*. Berlín-Basilea-Boston: Birkhauser.

Serlio, Sebastiano. [1545] 1584. *Tutte le opere di architettura . . .* Venecia: Francesco de Franceschi.

Soler Cantó, Juan. [1993] 1999. *El Hospital Militar de Marina de Cartagena*. Cartagena: Universidad Politécnica.

Soler Cantó, Juan. 2002. *Puertas de Cartagena*. Cartagena: El autor.

Tosca, P. Thomas Vicente. 1707–1715. *Compendio mathemático, en que se contienen todas las materias más principales de las Ciencias, que tratan de la cantidad . . .* Valencia: Antonio Bordazar - Vicente Cabrera.

Vandelvira, Alonso de. c. 1580. *Libro de trazas de cortes de piedras*. Copia en Madrid, Biblioteca de la Escuela de Arquitectura. Ed. facsimilar: *Tratado de arquitectura*, Albacete, Caja Provincial de Ahorros, 1977, con transcripción y prólogo de Geneviève Barbé-Coquelin de Lisle.

Zaragozá Catalán, Arturo. 1992. El arte del corte de piedras en la arquitectura valenciana del cuatrocientos. Francesch Baldomar y el inicio de la esterotomía moderna. En *Primer Congreso de Historia del Arte Valenciano*, 97–105. Valencia: Generalitat Valenciana.

La reconstrucción del cuerpo principal del templo de Santa María de la Antigua de Valladolid, a principios del siglo XX

María Soledad Camino Olea
Elesio Gatón Gómez

La Iglesia de Santa María de la Antigua de Valladolid, como se conoce hoy en día, aunque a finales del siglo XIX y principios del siglo XX se conocía como templo de Nuestra Señora de la Antigua, fue fundada por el Conde Pedro Ansúrez y su mujer, doña Eylo y presenta dos estilos arquitectónicos destacados: el románico de la torre y el pórtico norte y el ojival que presenta el resto del templo (figs. 1 y 2).

A lo largo de los siglos la iglesia ha sufrido numerosas obras para completarla, repararla o reconstruirla. Las más cercanas a nuestro siglo han sido la reparación y consolidación de la torre y la reconstrucción de las naves de la iglesia que fueron demolidas, por amenazar ruina, en la primera mitad del siglo XX. Esta reconstrucción suscito un gran interés en Valladolid debido a la importancia que tiene el edificio para la ciudad y por tratarse de un edifico que es monumento nacional, por lo que los Arquitectos del Ayuntamiento y de la Diputación emitieron diversos informes al respecto y aparecieron diversos artículos en la prensa local sobre las obras que se iban a realizar.

Descripción

El templo presenta tres naves, la central de mayor anchura, y dos laterales cortadas por la nave crucero. Las naves esta rematadas por ábsides poligonales, el ábside de la central de planta heptagonal y los de las naves laterales de planta pentagonal (figs. 3 y 4). Tiene una torre situada a los pies, en el lado oeste, el elemento mas importante del edificio: «mide 55^{m} de altura total y está formada por un prisma rectangular, de sillería de base cuadrada de 6^{m},50 de lado y 36m de alto, con espesor medio de muros de 1^{m},85 y 2^{m},85. Su pared inferior, de 15^{m} de altura, se halla envuelta por un potente muro de 2^{m}, 30 de espesor refrentado de sillería que se construyó posteriormente para evitar su ruina, y cuatro cuerpos mas de unos 5^{m} de altura el primero, segundo y último y cerca de 6^{m} el tercero . . . alto capitel, cubierto de tejas verdes y rojas, de borde en escama que recibe veleta y cruz» (Fernández Casanova 1911). Y una galería en el lado norte de tres tramos separados por contrafuertes. Entre los contrafuertes hay arcadas de medio punto con columnas pareadas. El edificio está rematado, actualmente, por un peto detrás del que se oculta la cubierta de tejas.

Introducción histórica

La Iglesia de Santa María de la Antigua se debió de construir a finales del siglo XI. En un informe realizado por la Real Academia de San Fernando (*Gaceta de Madrid* 1897), fechado el 30 de marzo de 1987, para apoyar que el templo fuese declarado monumento nacional, se expone que no se sabe con certeza la fecha de su fundación, y se señala que fueron inauguradas el mismo día el templo de Santa María de la Antigua y la Colegiata de Santa María la Ma-

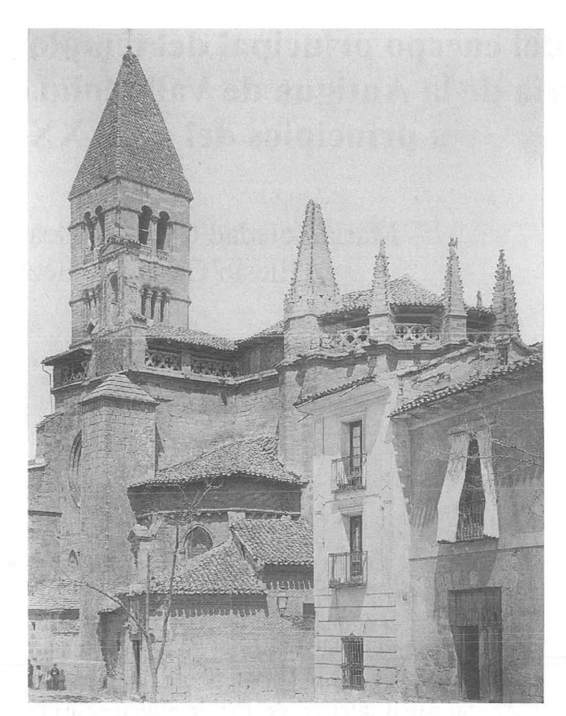


Figura 1
Vista de la iglesia de La Antigua de Valladolid a finales del siglo XIX de Jean Laurent (AMVA. Biblioteca Calderón. Colección Laurent. Tomo 7)

yor, en 1095 (fig. 5), y por una escritura coetánea se da por existente a ésta siete años antes, es decir, en 1088. La torre y el pórtico norte se debieron de construir en el siglo XIII y gran parte de las naves fueron reconstruidas entre 1350 y 1369 por Alfonso XI (Fernández Casanova 1911). Posteriormente, hacia el siglo XVI, porque la torre amenazaba ruina, se reforzó el arranque de la misma con unos muros de gran espesor que la rodeaban en toda la altura del primer cuerpo (figs. 3 y 6). A finales del siglo XIX se empiezan las obras de reparación de la torre, del pórtico norte y de las cubiertas de las naves, y mientras se realizan estas obras se comprueba que gran parte de las naves amenazan ruina y se decide demoler las naves y volver a reconstruirlas.

En esta época la iglesia estaba rodeada de diversas edificaciones por el lado sur y los ábsides que impedían ver la iglesia en su totalidad (fig. 7).

Obras de reconstrucción en el siglo XX

Como ya se ha comentado, a lo largo de los siglos la iglesia ha sufrido numerosas obras de remodelación y reconstrucción hasta llegar a finales del siglo XIX, cuando presentaba graves problemas de estabilidad, lo que genera una gran preocupación en diversos estamentos de la ciudad de Valladolid y por diversos cauces se gestiona que el templo sea declarado monumento nacional, de esta forma el Estado se responsabilizaría de su rehabilitación y mantenimiento.

El 20 de mayo de 1897 se publica en la Gaceta de Madrid la Real Orden por la que es declarado monumento nacional el templo de Nuestra Señora de la Antigua de Valladolid, junto con los informes favo-

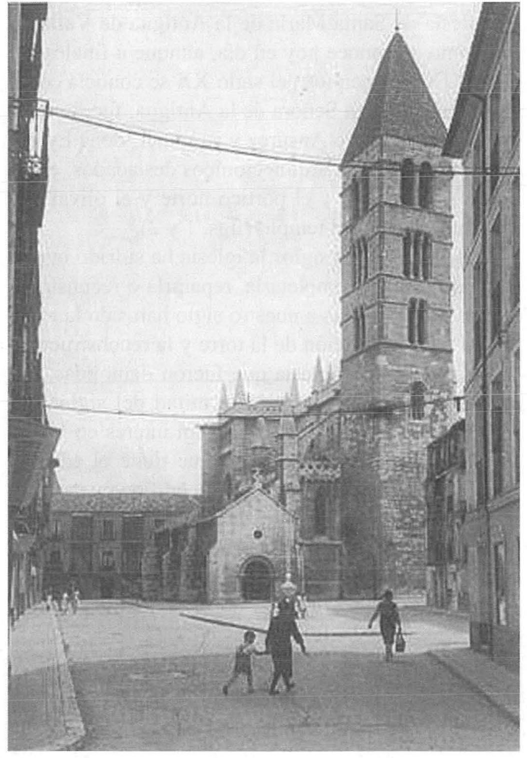


Figura 2
Vista de la torre y pórtico norte de la iglesia de Santa María de la Antigua y de la calle Solanilla. Fotografía de los años 1960 (AMVA. Fondo Fotográfico Asociación de la Prensa. F 832–7)

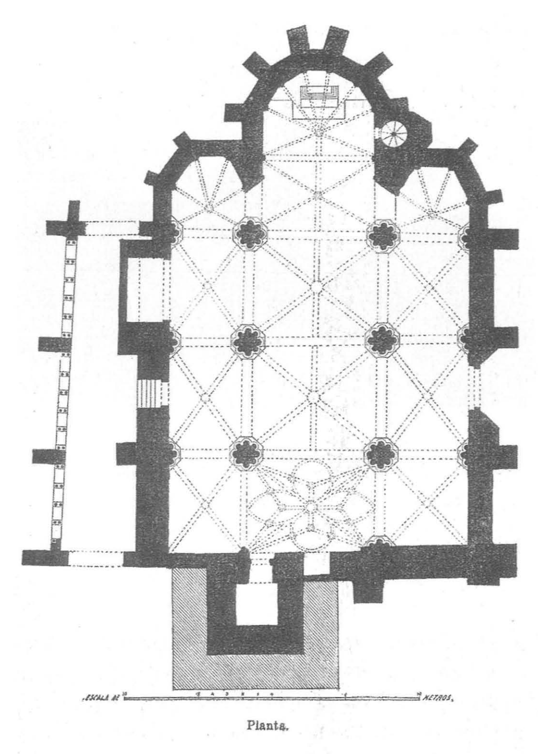


Figura 3
Planta del templo de Santa María de la Antigua, a principios del siglo XX, antes de la demolición de las naves (Fernández Casanova 1911)

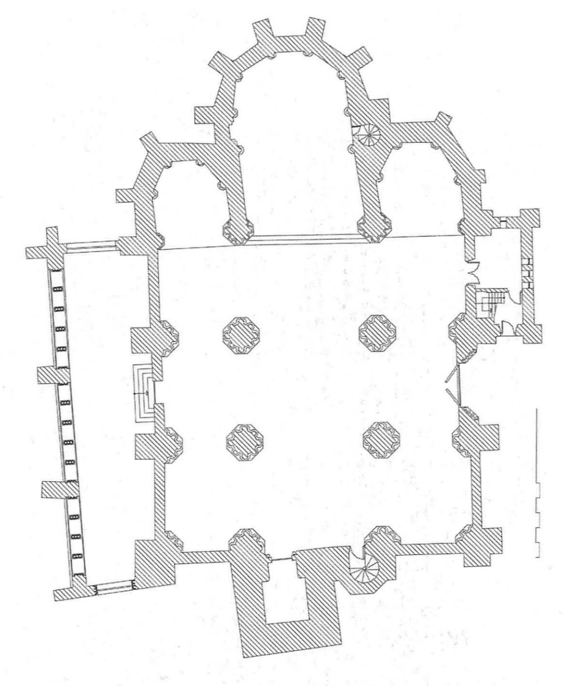


Figura 4
Planta actual del templo de Santa María de la Antigua (Dibujo de los autores)

rables de la Real Academia de Historia y de la Real Academia de San Fernando.

El primer proyecto de reparación que contrata el Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes es del Arquitecto Antonio Bermejo, hacia 1900, y a finales de 1901 o principios de 1902 se adjudican las obras de restauración del pórtico Norte, la reparación de la pirámide de la torre y la renovación de los tejados de la iglesia.

Durante la realización de estas obras, los arquitectos Juan Agapito y Revilla y Fernando Guadilla emitieron un informe sobre el estado de la torre de la iglesia, realizado por encargo del Ayuntamiento de Valladolid y fechado el 20 de abril de 1903, en el que manifiestan que no hay peligro de ruina de la torre, aunque es necesario proceder a reparar, principalmente, la cubierta y la bóveda inferior a ésta: «nos

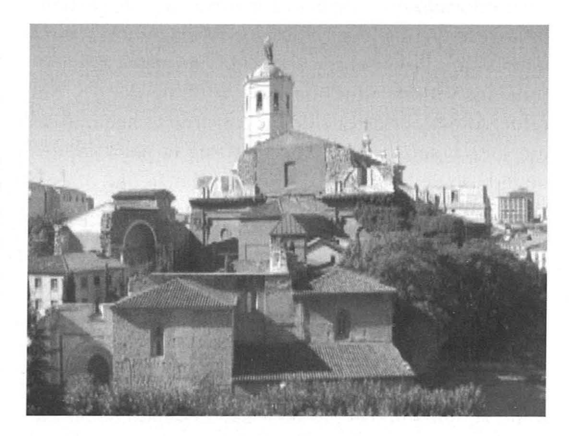


Figura 5
Vista de los restos de la Colegiata de Santa María la Mayor, en primer término, desde la cubierta de la Iglesia de Santa María de la Antigua. Al fondo se puede ver la Catedral de Valladolid (Fotografía de los autores)

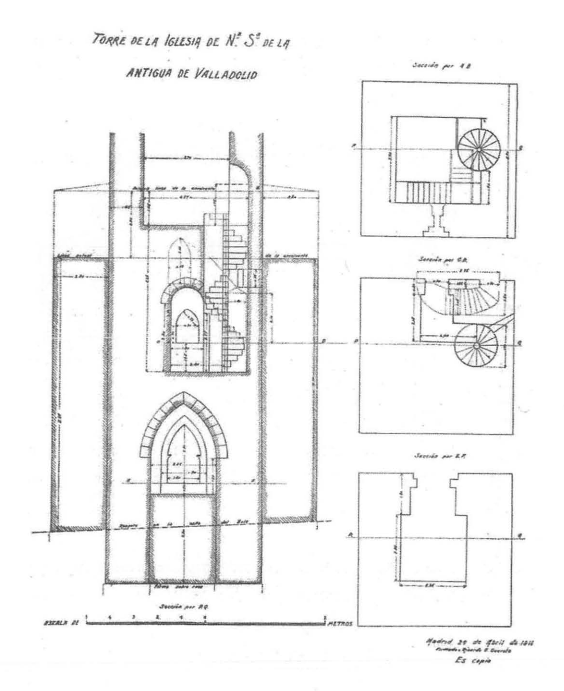


Figura 6
Dibujo del Arquitecto Ricardo García Guereta en el que se puede apreciar el refuerzo que tenía la torre (Fernández Casanova 1911)



Figura 7
Vista de la iglesia de La Antigua de Valladolid antes de la reconstrucción de las naves donde se pueden apreciar las construcciones adosadas (AMVA. Fondo Fotográfico Asociación de la Prensa. F 365–1)

cave informar que respecto a la torre nada de particular ofrece que de lugar a abrigar serios temores, aunque es difícil de definir el estado en que se encuentran los muros que quedan sueltos dentro del refuerzo de fábrica que debió construirse hacia el siglo diez y seis cuya obra manifiesta la poca solidez de la base de la torre y la poca confianza que ofrecía su estabilidad cuando se dio a ese contrafuerte un espesor de tres metros y una altura de catorce» (Agapito y Guadilla 1903).

Al fallecer el arquitecto Antonio Bermejo, se nombra director de las obras al arquitecto Vicente Lámperez que terminó la reconstrucción del pórtico norte y quien renunció al cargo, en 1904, debido a que durante la obra pudo comprobar que el estado de las naves de la iglesia era ruinoso y no le pareció oportuno realizar las obras de reparación del tejado cuando las naves amenazaban ruina. En una carta en la que contesta al arquitecto municipal Juan Agapito y Revilla señala que cuando se hizo cargo de la dirección de las obras realizó diversos reconocimientos de la iglesia y llegó a la conclusión de que:«la iglesia estaba ruinosa, por modo gravísimo» (Lámperez 1912), que informó de este hecho al Excmo. Sr. Arzobispo y presentó su dimisión como director de las obras, cuestión que comunicó al Sr. Silió, Subsecretario del Ministerio de Instrucción Pública y vallisoletano.

Tras su renuncia, el arquitecto inspector José Urioste, en 1908, realizó un reconocimiento y confirmó el estado ruinoso de las naves por lo que a los pocos días de presentar su informe la iglesia se cerró al culto.

Los arquitectos Juan Agapito y Revilla y Santiago Guadilla, redactaron un informe, fechado el 21 de febrero de 1908 en el que se muestran de acuerdo con el emitido por el anterior y en el que afirmaban que parte de la iglesia estaba en ruina y aconsejaban el cierre del templo al culto. En el informe que emiten señalan: «Hay señales indelebles y patentes, tanto en el interior como en el exterior del templo, que demuestran las alarmas justificadas en el siglo XVI, quizá interiormente se dispusieron por entonces tres arcos rebajados que oponiéndose a la exagerada flexión de los pilares ataban y acodalaban longitudinalmente los del crucero y transversalmente los dos de él próximos al coro. Además por el exterior se reforzaron los contrafuertes y aún se añadieron los tres arbotantes, dos descubiertos por el costado norte y otro

oculto en la actualidad tras la habitación del señor Cura Párroco» (Agapito y Guadilla 1908).

Posteriormente a estos informe, el arquitecto Adolfo Fernández Casanova emite otro informe fechado el 17 de octubre de 1911 en el que precisa que el cuerpo principal de la iglesia está en ruina y es necesario proceder a su demolición: «no es sin embargo, posible conservar este monumento, á pesar de su indiscutible valor histórico y arqueológico, pues los informes emitidos por el Arquitecto-Director de las obras, confirmados por el Inspector de la zona y las fotografías del estado actual de los pilares del templo que acompañan al expediente, constituyen la más fehaciente prueba del estado de descomposición en que se encuentran las fábricas del templo y la urgente necesidad de proceder a su demolición, tan luego como haya servido de provisional apeo para la restauración de la torre» (Fernández Casanova 1911). Y propone que se reconstruya el templo en un estilo similar: «debe proyectarse razonada, sencilla y severa, y cuyas formas, inspiradas en el arte ojival, no produzcan un efecto disonante de las que se conserven, revelen, no obstante, la época en que se erigen» (Fernández Casanova 1911).

Tanto la aprobación del proyecto como la adjudicación de la obra, para la demolición y reconstrucción del templo, van mas despacio que las noticias que publica la prensa local donde se puede leer la siguiente noticia: «el comienzo de las obras de restauración del artístico histórico templo de Nuestra Señora de la Antigua de esa capital, que comuniqué a *El Norte* hace pocos días, va a ser confirmado por la realidad en la próxima semana. Esta misma tarde ha celebrado una larga conferencia el ilustre arquitecto señor Guereta con el subsecretario de Gobernación señor Alba, á cuya gestión, de tan brillante resultado para Valladolid, se debe la realización de esas importantes obras» (*El Norte de Castilla*, 6 diciembre 1909).

El 5 de mayo de 1912 aparece publicado en *El Norte de Castilla* un artículo, firmado por el arquitecto Ricardo García Guereta, en el que se explicaba como se había llegado al estado de ruina del edificio y que la primer actuación que se iba a realizar era la restauración de la torre y el derribo de la iglesia conservando, si era posible, el ábside y el pórtico norte y que era previsible que después de esta restauración se realizase la reconstrucción del templo. También señalaba que era urgente acometer la restauración de la torre y eliminar la envolvente de piedra y que la obra era peligrosa ya que la iglesia estaba sirviendo de apeo a la torre en sus lados más ruinosos, en el Nordeste y Sureste.

El 11 de octubre de 1912 aparece publicado en El Norte de Castilla en la Sección de Notas municipales, que se cerraban al tránsito las calles y plaza que lindan con la torre porque iban a comenzar las obras de restauración de la misma. Y que iba a ser retirado el reloj que había en la torre, que es propiedad del Ayuntamiento.

El 5 de noviembre de 1914 aparece publicado en la Gaceta de Madrid el Real Decreto de aprobación del proyecto redactado por el arquitecto Ricardo García Guereta con un presupuesto de ejecución material importante 417.904 pesetas 97 céntimos, para la reconstrucción de las naves del histórico monumento de Nuestra Señora de la Antigua, de Valladolid, con el fin unir la torre de estilo románico de dicho templo, ya restaurada, con el ábside y el pórtico que se conservan. Se adjudicaron las obras al contratista D. Federico Crespo Pérez, con la baja del 13,11 por 100, y este contratista hizo cesión de su contrata a D. Alfredo cabello Fernández, cesión que se autorizó por Real orden de 10 de noviembre de 1922 (Gaceta de Madrid 1914). El 7 de noviembre, el Norte de Castilla publica una nota con el contenido del Real Decreto.

El 9 de agosto de 1916 se autoriza la ejecución del proyecto aprobado por la cifra de 480.593 con un céntimo, distribuida en las siguientes anualidades: 28.750 en 1916, 86250 en 1917, 115.000 en cada uno de los ejercicios de 1918 y 1919 y 135.593 y un céntimo en 1920 (*Gaceta de Madrid* 1914).

El 15 de noviembre de 1924 aparece publicado en la Gaceta de Madrid el Real Decreto por el que se aprueba el proyecto adicional de reconstrucción del templo redactado por el Arquitecto Ricardo García Guereta con un presupuesto de contrata de 792.258,52 pesetas. Y el 8 de septiembre de 1926 se aprueba el presupuesto para continuar las obras y se distribuye en: 60.000 pesetas en 1926, 245.000 pesetas en cada uno de los de 1927 y 1928, y 243.258,52 en el de 1929. Estas obras fueron adjudicadas al contratista don Julián Varona, por Real Orden de 18 de marzo de 1927, obras que fueron recibidas provisional y definitivamente por Órdenes de 24 y 27 de octubre de 1934.

Por Orden de 27 de abril de 1946 se aprueba el Proyecto de completar la restauración del monumen-

to con la construcción de un cuerpo saliente como prolongación de la nave sur del crucero, compuesto de planta baja, destinada a sacristía, y la planta alta, para el despacho parroquial, y otras obras por el Arquitecto Anselmo Arenillas, importante 154.482,58 pesetas, con lo que se terminaría la reconstrucción del templo.

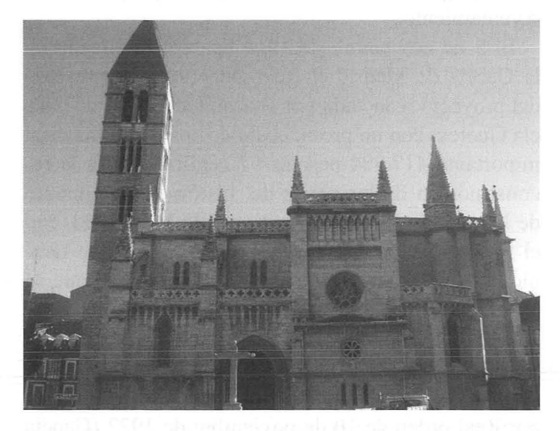


Figura 8
Vista actual de la iglesia de Santa María de la Antigua (Fotografía de los autores)

Conclusión

La iglesia de Santa María de la Antigua parece haber tenido problemas de estabilidad desde la primera construcción, y a lo largo de los siglos se han realizado diversas obras de reconstrucción y consolidación. A principios del siglo XX el estado de las naves era de ruina y la estabilidad de la torre era preocupante por lo que se decide la demolición de las naves y restaurar la torre, el pórtico norte y lo que se pueda conservar de los ábsides, así como las trazas de las naves. No es hasta 1916 cuando se inician las obras de reconstrucción, obras que se contrataron durante los años 1916 a 1920 y de 1926 a 1929, y que se reciben en el año 1934, es decir, mas de treinta años después, y que han proporcionado al edificio un aspecto diferente al que presentaba anteriormente como se puede apreciar comparando las fotografías del siglo XIX con una vista del estado actual (fig. 8) y que delatan claramente la reconstrucción de las naves.

Lista de referencias

Agapito, J.y F. Gaudilla. 1903. Informe sobre la iglesia de Santa Maria de la Antigua. CAJA 344–31 (Legajo 90–31) del Archivo Municipal de Valladolid.

Agapito, J.y F. Gaudilla. 1908. «Informe sobre la iglesia de Santa Maria de la Antigua». En *Boletín de la Sociedad Castellana de Excursionistas* V (1911–1912).

AMVA. Archivo Municipal de Valladolid.

El Norte de Castilla. 150 años de portadas de El Norte de Castilla. Edición en DVD 2006.

Fernández Casanova, A. 1911. *Iglesia de Santa María de la Antigua en Valladolid.* Madrid: Imprenta de San Francisco de Sales.

Lámperez, V. 1912. «Carta dirigida a Juan Agapito y Revilla». En *Boletín de la Sociedad Castellana de Excursionistas* V (1911–1912).

Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. 1897. «Informe en el que se apoya la declaración de Monumento Nacional del templo de Santa María de la Antigua de Valladolid». En *La Gaceta de Madrid* (20 de mayo de 1897).

La ingeniería tradicional del agua en Lanzarote

Javier de Cárdenas y Chávarri
Luis Maldonado Ramos
Ignacio Javier Gil Crespo

Lanzarote, la isla más oriental del archipiélago canario, se encuentra sometida, debido a sus característicos condicionantes naturales, a un régimen de sequía permanente que ha provocado que sus habitantes hayan ingeniado sistemas para recoger, almacenar, conservar y depurar la poca agua que pueda llover sin que se desperdicie ninguna gota. En efecto, ya Plinio el Viejo, en su *Naturalis Historia*[1] apuntó que en la ínsula de Pluvalia —como denominó a Lanzarote— «no hay más agua que la que llueve». Encontramos numerosas referencias a la sequía de Lanzarote en cuantos viajeros la han visitado. En 1770, el ingeniero militar Francisco Gozar, cuando hace referencia a la isla en su informe *Idea de las islas de Canaria, consideradas según su estado antiguo y moderno,* considera digno de señalar que «sus aguas son pocas, motivo que ha obligado a sus moradores a hacer varios aljibes y balsas para recoger la que cae del cielo».[2] Así mismo, Miguel Lobo describía esta situación de extrema sequía en 1860:

> La falta de agua hace árido el terreno de Lanzarote y con mucha frecuencia sobrevienen secas, que destruyen las más hermosas cosechas. Siendo a veces tales, que muchos de los habitantes se ven precisados a abandonar la isla. Las lluvias son raras e interrumpidas, y sólo se experimentan en los meses de octubre y noviembre; pudiendo decirse que estos meses son también los más frescos, pues el resto del año la temperatura es calurosa.[3]

A este escasísimo régimen de lluvias se le une la práctica ausencia de agua en el subsuelo. En 1865 se hizo un recuento de las fuentes de la isla: de las catorce fuentes registradas trece eran de uso privado y sólo seis eran perennes.[4] Tan sólo se pueden encontrar fuentes en el valle de Haría, los riscos de Famara, de difícil acceso, con alta salinidad que sólo se empleaba en casos extremos de sequía, y en las laderas de Femés y Maciot. Se trata de «raquíticos manantiales de escaso caudal y aguas siempre más o menos salobres que brotan en estos valles, pero todos ellos tan poco abundantes que no evita el que sus propietarios tengan que recoger las aguas llovedizas», según un comentario de Eduardo Hernández-Pacheco, geólogo cacereño que visitó la isla en 1907.[5] Respecto a este recuento de manantiales, ya había escrito en 1772 el ingeniero Joseph Ruiz Cermeño lo siguiente:

> Hállanse seis fuentes perennes a la parte del norte, dos al este y una al oeste. Las del norte son las de Famara, Maramargo, de las Nieves o del Rey, Elvira Sánchez, Zafantía y Aguza. Las aguas de la primera se pueden conducir a la Villa y las de la última tienen fama de medicinales. Las del este se llaman la de La Montaña y la de Temisa, que es la más abundante de todas, y la del oeste, que es la de Femés. Fuera de eso hay muchos pozos, los más de agua salobre y bastantes aljibes en que recogen los naturales las aguas que servían para su uso y el de sus ganados.[6]

A pesar de esta escasez constante de agua, el lanzaroteño, agricultor y ganadero principalmente, ha sabido adaptar su hábitat y su entorno para abastecer-

se del agua necesaria y vital. Ha modelado el terreno con testes o talabardones, ha aprovechado las aguadas para recoger el agua de escorrentía mediante acogidas y la ha almacenado en grandes charcas llamadas maretas o en aljibes enterrados. Ya los *mahos* —primeros aborígenes que poblaron Lanzarote y Fuerteventura unos quinientos años antes del comienzo de nuestra era— dispusieron grandes charcas donde almacenaban el agua de lluvia para su abastecimiento.

En esta comunicación se estudian todos estos elementos y obras hidráulicas atendiendo tanto a su funcionamiento como a sus aspectos constructivos dentro del ciclo de recogida, conducción, almacenamiento, depuración, refrigeración y consumo del agua en un lugar donde se hace preciada por su carestía, con un gasto energético nulo y absolutamente sostenible en el pleno significado de la palabra.

El clima de Lanzarote

El clima lanzaroteño es cálido merced a su ubicación subtropical (28º 50' N en Punta del Papagayo y 29º 15' N en Punta Fariones) y por encontrarse cerca de la gran masa continental africana (unos 140 km hasta el Cabo Juby), pero también seco a causa de que la corriente atlántica que baña las costas de las islas es fría. El factor más importante que interviene en la climatología de nuestra isla es el anticiclón de las Azores. Este centro de altas presiones pertenece a la masa de aire tropical marítima, cuyo origen es oceánico y por eso presenta una humedad relativa en torno al 70% y una temperatura que varía poco de los 20º. El anticiclón de las Azores, de gran estabilidad atmosférica, forma en su flanco oriental el alisio, viento del noreste que afecta a las capas bajas de la atmósfera (hasta los 2.000 m); al chocar este viento húmedo con las montañas se forma el conocido «mar de nubes» o «panza de burro», que provoca contrastes climáticos entre las vertientes septentrionales, frescas y húmedas por encontrarse a barlovento, y las laderas meridionales, cálidas y secas por su orientación a sotavento. La poca elevación de la superficie de Lanzarote —la cota más alta, en el macizo de Famara, apenas supera los 670 m— impide el desarrollo en cierto grado de esas nubes comunes en otras islas de mayor relieve. A pesar de estas tenues diferencias, se puede considerar la isla de Lanzarote, así como sus islotes adyacentes —el archipiélago Chinijo— como un territorio climáticamente uniforme.

El viento no sólo es constante sino que también sopla con intensidad (la media está en el intervalo de 20 a 40 km/h, si bien se han medido valores de 70 km/h en Timanfaya). El período más ventoso es el que va desde mayo hasta noviembre, con una presencia del 90% de los días, frente al tiempo más calmo del invierno, con un 65% de los días afectados por el alisio. Éste es un condicionante esencial y uno de los que más va a influir en la arquitectura de la isla. Este viento pertenece a los denominados «tradewinds» o vientos del comercio, ya que eran los que facilitaron la navegación por el Atlántico a partir del siglo XV.[7]

La pluviometría, en consecuencia, es escasa: ronda entre los 100 y los 300 l/m^2 al año, según la zona, con una media de 140 l/m^2, y además es estacional; por ello se puede considerar que el clima de Lanzarote es desértico. Se han sufrido largos periodos de sequías. En 1772 fallecieron 2.600 habitantes por la falta de agua y alimento. Entre 1830 y 1842 se sufrió un periodo de sequía que mermó la población en 5.000 individuos en esos años rompiendo el crecimiento demográfico progresivo que estaba desarrollándose desde comienzos del siglo XIX con motivo

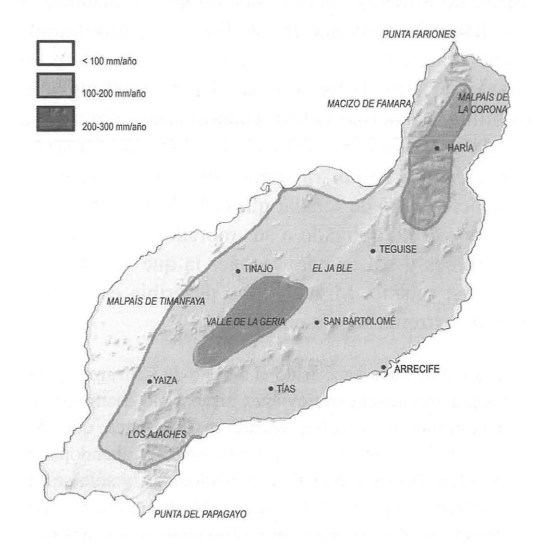


Figura 1
Mapa pluviométrico de Lanzarote, en el que se han señalado los principales elementos geomorfológicos y lugares referidos en esta comunicación

del florecimiento económico debido a la liberalización comercial y a la modificación de algunos cultivos, como la reactivación de la barrilla (*Mesembryantenum crystallinum*), de la que se obtiene la sosa, y de la cochinilla (*Dactylopius coccus*), para la producción de colorante.

Una de las principales particularidades del suelo lanzaroteño es la ausencia de cauces de agua superficial de carácter permanente. Tampoco hay agua subterránea, con las únicas excepciones antes señaladas.

Recogida y conducción del agua

Para aprovechar la poca agua de las exiguas fuentes de la isla de Lanzarote se perforaban pozos y galerías, principalmente en el valle de Haría, que es el más húmedo de la isla. En las playas del Papagayo, en la vertiente sur de los Ajaches, aún se conservan los primitivos pozos que utilizaron los conquistadores normandos en la primera ciudad europea de Canarias: San Marcial de Rubicón.[8] Estas fuentes se nutren de la llamada «lluvia horizontal»: el alisio, aire húmedo del océano, choca con los montes condensándose y filtrándose el agua que transporta. En un documento fechado en 1719 en el que se hace un inventario de los bienes del pueblo se citan todas las fuentes y pozos de Haría:

> primeramente, el poso que se dice de Juana . . . , el poso de Grigorio, . . . el poso de Las Bacas, . . . el Posillo de las Mugeres, . . . otro poso que está cerca del dicho, . . . el Poso de Tenala, . . . el Chafarís de Haría, . . . otra fuente, a manera de poso antiguo, que está junto a la huerta de Juan Delbira.

El inventario continúa con los «Posos del Rubicón y su comarca»:

> Yten, en Rubicón, junto a San Marçial, tres posso, que el primero un poso grande, abierto de bóbeda antigua, con sus pilas y con lo demás de antiguedad a el perteneciente: Yten, otro poso más arriba deste, que tanbién fue poso abierto, con todo el sitio y con lo demás a el perteneciente. Yten, otro poso más arriba destos, que se desía el Poso de Marcos Luzardo, con lo a el perteneciente. . . el Benengo, que fue posos abierto de antiguedad usada y guardada, . . . otro poso, que se dice Asofé, poso biejo, que fue abierto junto a la mar con la entrada e dehesa a el pertenesiente.

En cuanto a las fuentes, este documento explica que «tiene en este pueblo por fuente suya todo el Barranco de Famara, desde arriba a lo alto del Risco, el Barranco abajo con la madre del agua e charcos y con la poseta, con un chafarís questá abajo de la poseta». Asimismo, cita las fuentes de Temisa, Ferneje (a la salida de Femés), la Fuente de Juan Martín en la Montaña «con sus acojidas», la Fuente de Tindaja, Maramasgo y la Fuente del Rey.[9]

La escasez y mala calidad de esta agua hacen necesaria la recogida, sin que se pierda ninguna gota, de la *agualuvia* —término empleado en Lanzarote para designar el agua de la lluvia. Esta necesidad ha determinado la forma de las viviendas lanzaroteñas, de modo que sus plantas tradicionales en «L» o en «U» no solo son idóneas para proteger el patio, verdadero núcleo de la casa, del alísio del noreste sino que ayudan a verter el agua de las azoteas al patio interior bajo el cual se ubica, por lo general, el aljibe o depósito subterráneo de agua.[10] Esas azoteas, encaladas para favorecer la escorrentía y evitar su filtración, tienen una ligera pendiente que facilita la conducción del agua hacia gárgolas que la vierten al patio. «El blanco de la cal es limpio, desinfectante y no contamina el bien tan preciado que es el poco agua que se puede recoger» (Manrique 1974). La pendiente del patio y los tranques o pequeños muretes y maromas tendidas para la ocasión «estuercen» el curso del agua y le ofrecen un camino hasta el caño del aljibe.



Figura 2
Vivienda en Tías. Las cubiertas desaguan al patio mediante las gárgolas. En el patio se puede observar el trasdós del aljibe

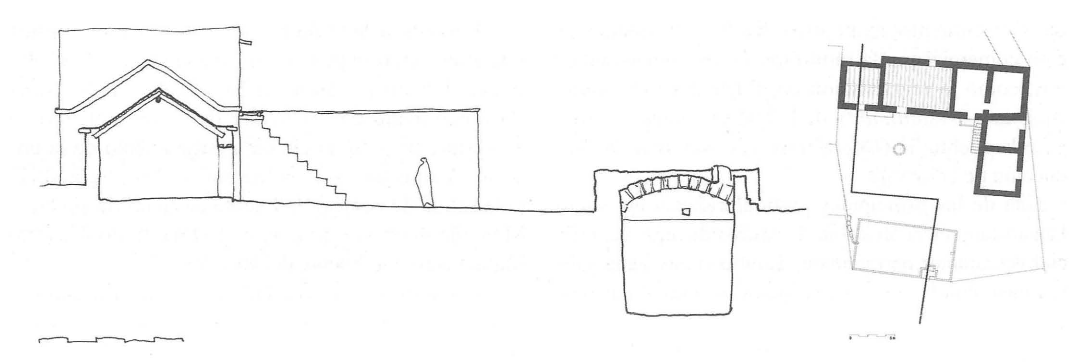


Figura 3
Sección transversal y planta de una vivienda en Güime. La planta en forma de «L» ofrece protección al viento que sopla del NNE y facilita la captación del agua de la lluvia. La ligera pendiente del patio la conduce hasta el aljibe

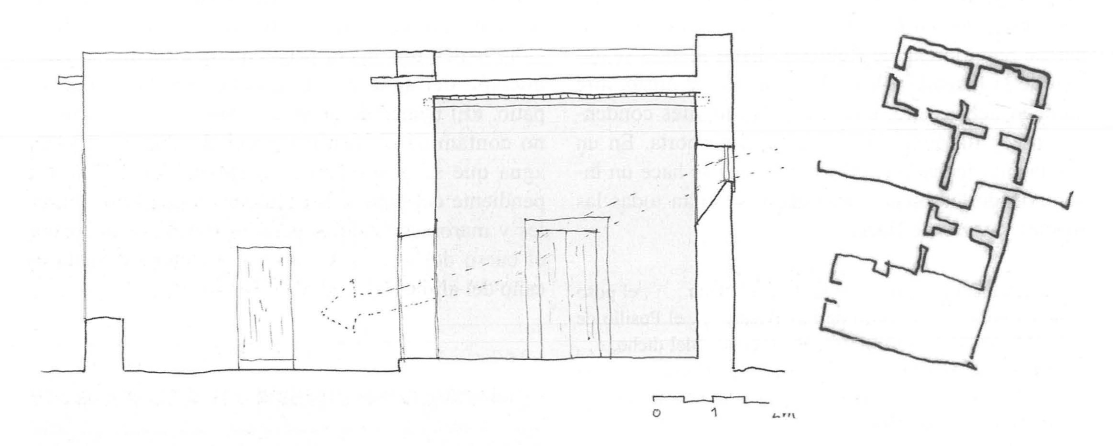


Figura 4
Sección y planta en «U» de una vivienda en Mácher

Siempre se buscarán las aguadas, que son las depresiones del terreno, barrancos o lugares propensos a recibir el agua de escorrentía. El término popular «alcogida», que es deformación de «acogida», designa la extensión pavimentada previa al aljibe que favorece la recogida del agua de lluvia o de las aguadas y la conduce hacia la boca del aljibe.[11] En ocasiones, hasta las calles y las eras funcionan como acogidas.

Por lo general, cada vivienda tiene un aljibe bajo su patio de forma que éste —también la propia vivienda por su forma y por tener todos sus paramentos encalados— actúa como acogida, tal y como ya se ha referido más arriba. Sin embargo para las familias que no tenían aljibe, o para abastecer las necesidades del pueblo, existían grandes aljibes y maretas comunales, como el aljibe de Haría, hoy rehabilitado como centro cultural.



Figura 5
Acogida en Mácher. En la parte derecha se ve el aljibe

Almacenamiento del agua: maretas y aljibes

Las maretas

El sistema más primitivo para recoger y almacenar el agua de lluvia, ya utilizado por los primeros habitantes desde el siglo V a.C., es la mareta. Se trata de grandes charcas situadas en depresiones y aguadas naturales en las que se remansa el agua de lluvia. Para preparar una mareta bastaba con disponer una extensa superficie impermeable tendiendo una torta de barro y cal. Cuando estaban vacías servían de era, al igual que las acogidas. Su emplazamiento facilitaba el almacenamiento del agua de las aguadas y escorrentías.

La mareta histórica más importante ha sido la Gran Mareta de Teguise (fig. 6) que se construyó durante el gobierno de Sancho de Herrera para facilitar el abastecimiento de agua a los isleños.[12] En tiempos de don Agustín de Herrera y Rojas (1537–1598) se hicieron importantes reformas, como el cercado del depósito central o caidera.[13] Antes de que desapareciese en la década de 1960, Eduardo Hernández-Pacheco había escrito de ella que «los altos bordes que la limitan están cubiertos por una espesa capa de tierra arcillosa procedente de sus limpiezas. Contiene un agua excelente, si bien de aspecto poco agradable a causa de lo enturbiada que está por la arcilla en suspensión en estado tal de tenuidad que no acaba de sedimentarse».[14]

Sobre la situación de sequía de Lanzarote, y en particular sobre la mareta de Teguise, escribe Miguel Lobo en 1860:

> Lanzarote y Fuerteventura son las únicas islas que carecen de agua, viéndose obligados sus habitantes en la precisión de recoger la llovediza en albercones y estanques grandes. Lo cual, como es consiguiente, hace que sea de mala calidad y esté revuelta. Uno de estos estanques se halla en las inmediaciones de San Miguel de Teguise, y son tales sus dimensiones, que se conoce en el país con el nombre de «Mareta».[15]

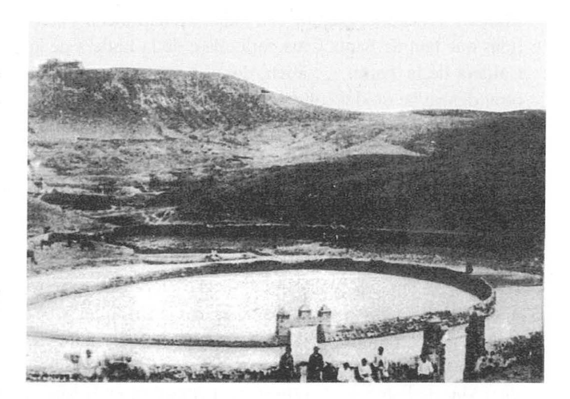


Figura 6
La Gran Mareta de Teguise, antes de su desaparición

Cada año hacia la mitad de la primavera, cuando ya empezaba a escasear el agua, el Cabildo designaba un maretero para que vigilase la mareta y se encargase de limpiar las acogidas, las coladeras y el vaso.[16] También se decidía el uso del agua: había una reglamentación para su empleo y disfrute. Se fijaba el precio en función de lo que había llovido durante la temporada de lluvias. Además, según fuese su uso, para consumo humano o del ganado, se establecía un precio diferente, si bien los precios no eran muy altos.

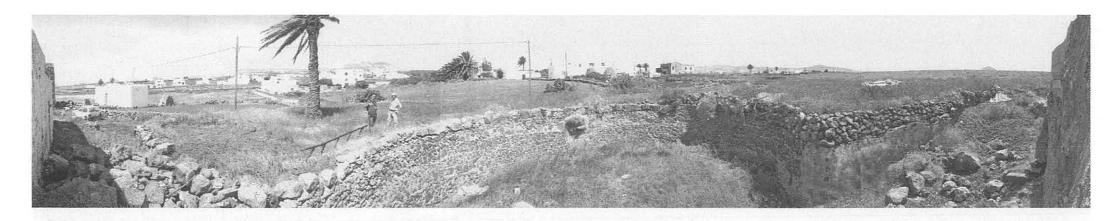


Figura 7
Mareta excavada en Teseguite. Se trata de una excavación a la que se accede por una rampa. Una gran acogida surte de agua de lluvia a esta mareta

En el documento antes citado sobre el *Inventario de los bienes del pueblo de Lanzarote*[17] se citan las maretas de la isla:

> Primeramente, tiene este pueblo en esta Billa una mareta grande son sus acojidas y barrancos, todas las que bienen del Llano de la Ladera de Torre y todas las demás acostumbradas que al pueblo le pertenecen. Yten, otra mareta que se dise la mareta de Arenillas, que está serca de las Mares y Teseguite, grande, con todos los barrancos y acojidas que ban de Santa Crus para ella e de la Ladera de la Caldera de la Torre . . . Yten, dos maretas, una junto de otra, dentro de un dél e que disen Las Mares, con un caño qe pasa el agua de la una a la otra, grandes, y sus sercas con los barrancos que bienen desde la Montaña de Nuestra Señora delas Niebes e Lomo Blanco y el barranco avajo hasta entrar en ellas . . . Yten, una mareta Grande, que se dise, con todos los barrancos que le pertenesen de así a Tomai y Tamia, cerca, con su coladera y todo lo demás que le suele y puede pertenecer. Yten, otra mareta que se dise la marete de Guasimeta, con las acojidas y barrancos a ella pertenesientes, según la costumbre antigua. Yten, una sisterna en la Geria . . . Yten otra mareta que se dice Mar de Espinos . . . otra mareta ques junto a la Mareta de Yay que se dise Monachai, con las acojidas que bienen del charco y todas las demás contiguas que a ellas solían benir. Yten, una sisterna, que se dice lla sisterna de Nosa . . . Ytne, otra mareta, que dicen la mareta de Maço, con las acojidas y barrancos a la dicha mareta, pertenesientes según es y a çido uso y costunbre. Yten, una mareta que está junto en las dichas tierras del pueblo. Yten, el Barranco de Teniguime, desde la Queba Bermeja hasta entrar en Guatise, con todos los charcos de agua que aia en dicho barranco se encierran e todo lo que allí puede e le debe perteneser al pueblo. Yten, otra mareta, en Teze, que es junto a Guage con sus acojidas. Yten, otra mareta ques junto a las casas de So con sus acojidas.

Las erupciones volcánicas que asolaron la isla durante un periodo de seis años, entre 1730 y 1736, provocaron que la arena expulsada por el volcán inutilizase numerosos aljibes y maretas, como se puede leer en los diversos documentos conservados de la época de las erupciones:

> Los algibes y maretas sin agua y perdidas totalmente las acogidas; las casas casi tapiadas; los paxeros trabaxosos; el cual estrago tam bien se toca en la Jeria baxa, la vega del Chupadero, y parte de Uga; a que se llega que dichas arenas han cubierto no solo las vegas, tierras y lugares expresados con la imposibilidad de que aia algibe ni mareta que pueda coger agua, aunque llueva mui mucho[18]

Este sistema de recogida y almacenamiento del agua de la lluvia ha seguido en vigor hasta que se ha asegurado el abastecimiento de agua mediante la central desalinizadora de Arrecife en 1964, que empezó a producir 2.300 m^3 de agua marina desalada diarios mediante un sistema de evaporación súbita multietapa.[19] Sin embargo, a nivel doméstico se siguen manteniendo y usando algunos aljibes.

Antes de la construcción de la desalinizadora del Puerto de los Mármoles, a principios del siglo XX, se habían construido las maretas del Estado en Argana Baja, al norte de Arrecife, para abastecer a la población de la capital. Ésta es la mayor obra hidráulica que se ha realizado en Lanzarote. Se comenzaron a construir en 1902, pero no fue hasta 1913 cuando se finalizaron las obras. En el entretanto se sucedieron episodios de paralización de las obras por falta de recursos económicos. En 1906, el rey Alfonso XIII visitó las obras y se las renombró como las Maretas del Rey. Se necesitó la aportación económica de la familia Concepción, labradores adinerados de Haría, para poder terminar las obras. Se componen de varios aljibes que ocupan una superficie de 3.900 m^2 en los que se almacena el agua recogida por una inmensa acogida de casi nueve hectáreas (89.968 m^2).[20]

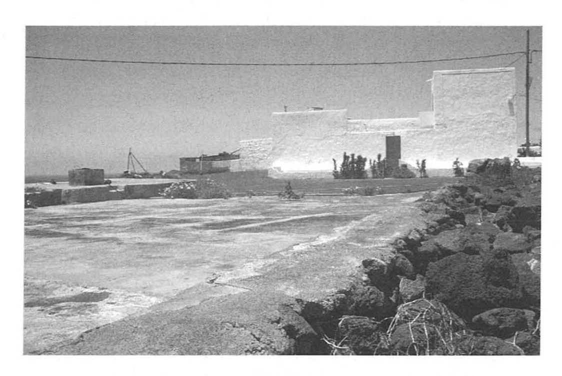
Los aljibes

El segundo elemento para el almacenamiento del agua de lluvia es el aljibe, que es un depósito o cisterna subterránea. El aljibe es una pieza importante de la vivienda lanzaroteña. Se sitúa bajo el patio principal o en el patio entre varias construcciones de una misma vivienda. También hay aljibes comunales y aljibes de campo:

> Sus moradores [del Puerto del Arrecife] son labradores y ganaderos, y como habitantes de costas, miserables si el Cielo no fecundiza sus terrenos con abundantes lluvias, pues carecen del agua necesaria para beber si no llueve anualmente, y por eso notamos que en los alrededores del Arrecife multitud de cisternas que, llenas de agua durante las grandes lluvias, les proporcionan un precioso recurso contra el terrible azote de la sed.[21]



Figura 9
Aljibe en Güime



Figuras 8
Vivienda, acogida y aljibe en Las Breñas

Los elementos principales de los aljibes son el brocal, el caño, la coladera y el aliviadero. El brocal es la apertura superior por donde se saca el agua. Tiene un pequeño antepecho y una trampilla horizontal de madera. Se sitúa entre dos arcos fajones de la bóveda, interrumpiendo el relleno, sobre la vertical del punto más profundo del aljibe y, dependiendo del tamaño de aljibe, puede haber más de uno. El caño es la entrada del agua que ha captado la acogida. La coladera no es más que un pequeño pozo previo al caño y tiene como función que el agua repose y se depositen las impurezas por precipitación antes de introducirse en el aljibe. Otro elemento importan-

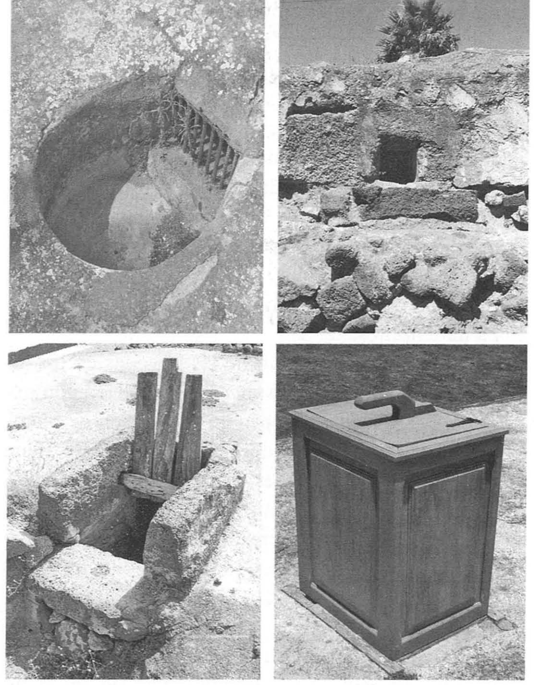


Figura 10
Elementos de los aljibes: caño con coladera en San Bartolomé, aliviadero en San Bartolomé, brocal en Güime, brocal de madera en Mancha Blanca

te, sobre todo en los aljibes situados en aguadas donde se prevea que se pueden llenar, es el aliviadero o rebosadero, un desagüe por donde puede rebosar el agua, en caso de que se llene, con el fin de evitar que el agua entre en contacto con el intradós de la bóveda, que no está encalado manteniendo una cámara de aire constante Así mismo, impide que el aljibe reviente por la presión del agua y se dañe su estructura. El aliviadero suele estar en el extremo opuesto al caño y un poco más bajo, unos 10 cm. Otras piezas que aparecen relacionadas con los aljibes son piletas, abrevaderos y lavaderos, que se labran en bloques de piedra, generalmente de *canto*, al igual que el brocal.[22]

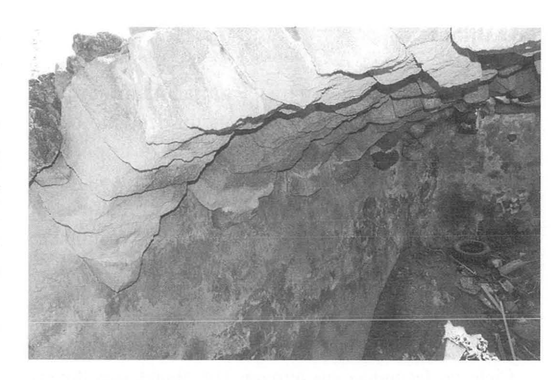


Figura 11
Vista interior de un aljibe en Playa Quemada

Proceso constructivo de un aljibe

Los aljibes se cubren con una bóveda de cañón formada por una sucesión de arcos fajones muy próximos entre sí que apoyan sobre ménsulas empotradas en el muro de contención. A pesar de ser un elemento enterrado sobresalen una cierta altura sobre la rasante; esto tiene una razón de ser: en caso de que se llene el agua sobrante puede salir, impidiendo la ruina que pudiese producir la presión del agua. Si estuviese totalmente enterrado no tendría posibilidad de desagüe. En cuanto al funcionamiento mecánico, el hecho de que esté enterrado favorece la transmisión de cargas al terreno. Los arcos fajones, que suelen ser muy tendidos, no necesitan de rellenos adicionales en los riñones para albergar la línea de empujes.

El principio constructivo de las bóvedas de los aljibes es el siguiente: en primer lugar se hace una excavación, se levanta un muro de contención de mampostería de unos 80 cm de grosor; este muro tiene matadas o redondeadas sus esquinas y el interior revocado con mortero de barro y cal como impermeabilizante. Desde unas ménsulas de apoyo de piedra empotradas en el muro perimetral se tienden los arcos fajones con una separación de unos 50 a 70 cm. Para levantar cada arco se emplea una cimbra de madera que se quita cuando el arco está cerrado y se vuelve a utilizar para el siguiente arco, de ahí la regularidad de dimensiones de los aljibes de Lanzarote. Las dovelas del arco no se labran sino en las dos caras de contacto. Las juntas se rellenan con mortero de barro y cal y, a veces, se meten cuñas de madera para que el arco entre en carga y facilite el descimbrado. El relleno consiste en mampuestos, ripios y cascotes de piedra quemada sin labrar. Los aljibes tienen alrededor de 5 m de profundidad. No obstante, se encuentran aljibes de hasta 12 m.

Aljibe en Playa Quemada

Durante las campañas de toma de datos y trabajo de campo entre 2002 y 2006, se hemos documentado más de dos centenares de edificios repartidos por todas las poblaciones de la isla. De entre ellos hemos realizado los levantamientos de unos treinta. Incluimos aquí los análisis tipológicos de dos aljibes.

El primero, situado en Playa Quemada, es de planta rectangular (4 × 8 m) y tiene una profundidad de unos 3,5 m. Su estado semirruinoso nos ha permitido observar los arcos fajones que forman su bóveda. Estos arcos tienen una anchura de entre 60 y 70 cm y un espesor de unos 40 cm, de dovelas bastante irregulares que, al igual que se ha explicado en el aljibe de San Bartolomé, dejan unos espacios entre los arcos que se rellenan con mampuestos, ripios y cascotes de piedra. Las dovelas son de basalto alveolar de grandes dimensiones y sus juntas son de mortero de cal y aparecen enripiadas. Los muros testeros presentan una acusada curvatura, lo que obliga a que en el extremo sur del muro occidental haya un pequeño medio arco que reduce la luz del relleno y estabiliza los posibles empujes transversales a los arcos fajones. Los arcos se apoyan sobre unas mén-

sulas empotradas en el muro, que tiene un revestimiento impermeabilizante de barro y cal. Este muro perimetral tiene un espesor medio de 80 cm y es de mampostería.

El aljibe se sitúa al final de un barranco que actúa como una aguada natural. En el extremo suroriental del aljibe se ubica el caño. Diametralmente opuesto, es decir: al noroeste, está el aliviadero. El antepecho del brocal es de canto.

Aljibe en San Bartolomé

Se trata de un aljibe rectangular de 4 × 8 m y unos 5 m de profundidad en estado de semirruina. La bóveda está formada por siete arcos fajones de un ancho de 60 a 70 cm y un grosor aproximado y medio de unos 30 cm, de dovelas bastante irregulares, dejando unos espacios intersticiales entre los arcos que rondan los 50 a 60 cm, los cuales se rellenan con mampuestos, ripios y cascotes de piedra. Las juntas son de mortero de cal. Sobre algunas partes de la bóveda se conserva la torta de barro que la recubría. Entre el segundo y tercer arco, contados desde el extremo sur, se ubica el brocal, cuyas dimensiones son 45 × 42 cm.

Se puede apreciar el muro de contención del lado sur. Tiene un grosor de 80 cm y no es paralelo a los arcos fajones sino que presenta una cierta curvatura. En este testero hay dos oquedades de sección cuadrangular, una de 20 cm de lado, en la esquina suroeste, y otra de 16 × 14 cm, a 80 cm de la esquina sureste. Posiblemente la primera fuese el caño y la segunda, dado que está un poco más baja, el aliviadero. Este aljibe está condenado a desaparecer, ya que se encuentra en un solar dentro del casco urbano que no tardará en ser construido.



Figura 12
Arcos fajones que conforman la bóveda del aljibe en San Bartolomé

Tratamiento del agua: conservación y depuración

El agua fermenta en el interior del aljibe donde se acumula. Esta fermentación da origen a la cría de un parásito llamado saltón. Este insecto resulta ser el mejor depurador biológico del agua; cuando desaparece, el agua es potable.[23] Otro sistema de conservación del agua es echar piedras de cal viva, incluso agua salada, para impedir su corrupción y mantenerla pura y limpia. En cualquier caso, antes de consumir el agua se hacía pasar por la destiladera, elemento común en todas las islas Canarias. Sobre un cuenco de piedra porosa, la piedra de destilar, se vierte el agua; la filtración de la misma a través de este cuenco la purifica y la hace apta para el consumo. El agua cae dentro de una vasija de barro, denominada bernegal, que la mantiene fresca. Estos dos elementos, cuenco y vasija, están dentro de un mueble de madera con puertas de celosía con el fin de preservar el interior de los rayos del sol y permitir el paso del aire. Con esta pequeña corriente de aire se consigue refrescar el agua que se guarda en el bernegal gracias a la evaporación superficial de la que se filtra a través de los poros de la vasija de barro. El conjunto de mueble, piedra y bernegal es lo que recibe el nombre de destiladera. Frecuentemente crece en la piedra de destilar un culantrillo, también llamado helecho de pozo o de Montpellier, que preserva la humedad y evita la evaporación del agua. Eduardo Hernández-Pacheco observó durante su visita a Lanzarote a principios del siglo XX que «jamás falta en la pared del patio, un hueco que se abre en éste, cerrado por fuera y por dentro por celosías de madera pintadas de verde, donde se coloca la *destiladera* [en cursiva en el original] o piedra de filtrar, tallada en forma de mortero, de toba porosa y de grano fino. En la concavidad de la destiladera, se vierte el agua del aljibe, que cae gota a gota filtrada y fresca sobre panzuda vasija de barro de forma artística. Sobre la piedra húmeda arraiga un helecho, el culantrillo (*Adiantum capillus-veneris*), envolviéndola con sus lustrosos y negros tallitos y sus



Figura 13
Destiladera tipo mueble en Teguise

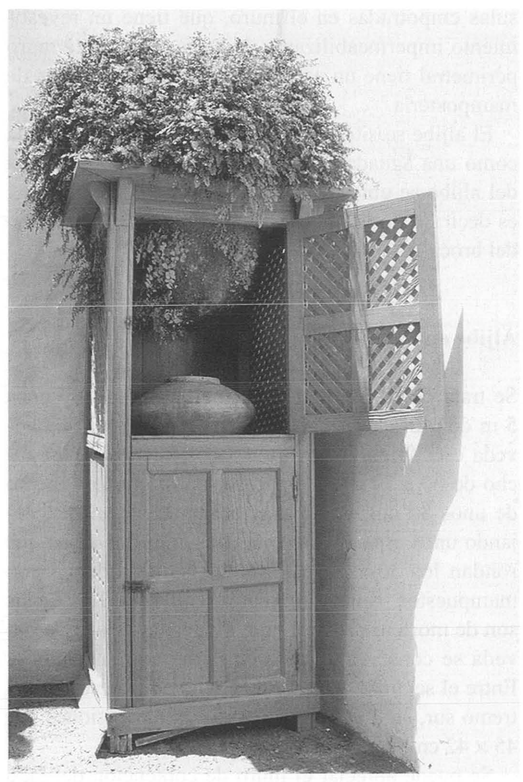


Figura 14
Destiladera con celosía en Teguise

verdes hojas cuneiformes. Este nicho con la destiladera y su tranquilo y monótono gotear, nunca falta en Canarias, aún en las casas más pobres».[24]

Ejemplos de destiladeras se pueden ver en casi todas las casas, pero es especialmente bella por la celosía de madera que la rodea la de la Casa de los Arroyo de Arrecife y por estar exenta y colgada del balcón. Los dos tipos principales son las destiladeras como mueble independiente o las que están empotradas a modo de nicho en el muro y tienen acceso desde ambos lados: desde la estancia y desde el patio.

Notas

1. *Naturalis Historia*, Libro 6.
2. Gozar1770. Trascrito en Capel 2001.
3. Lobo, Miguel. 1860. *Derrotero de las Islas Canarias*. Trascrito en Clar Fernández 1996, 309.
4. de Olive 1865. Citado en Fernández Quintero.
5. Hernández-Pacheco [1907–1908] 2002, 247.
6. J. Ruiz Cermeño. *Descripción de la isla de Lanzarote*, informe emitido a instancia del Comandante General de Canarias, 6 de junio de 1772. Trascrito en Clar Fernández 1996, 244.
7. Marzol Jaén, Victoria. 2000. «El clima». En Morales Matos y Pérez González (dir. y coord.) 2000, 87.
8. Los normandos Jean de Béthencourt y Gadifer de la Salle iniciaron la conquista de las islas Canarias en nombre de la Corona de Castilla a comienzos del siglo XV. Desembarcaron en las playas del Papagayo, al sur de Lanzarote y, tras someter a los aborígenes mahos,

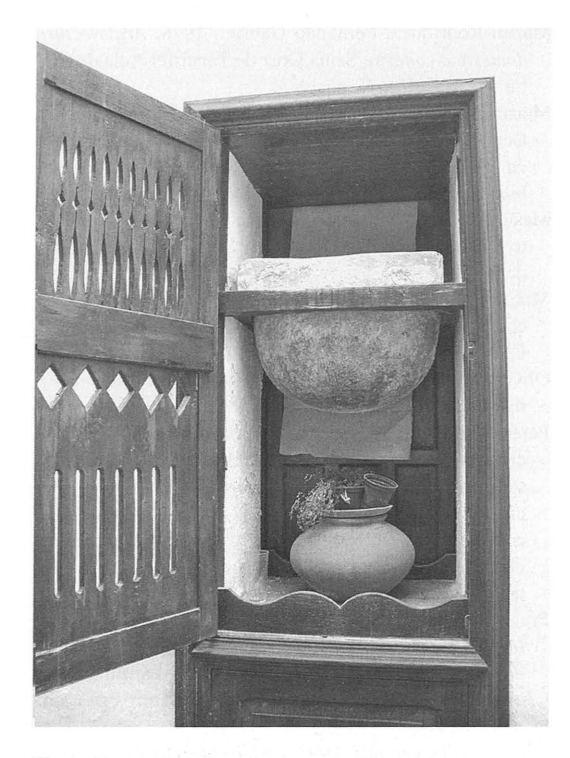


Figura 15
Destiladera en nicho en Arrecife

fundaron San Marcial del Rubicón, que fue la primera ciudad y diócesis de Canarias.

9. Quintana Andrés, Perera Betancourt 2003, 123–129: documento 15.
10. Sobre la tipología de la casa lanzaroteña se puede consultar nuestra comunicación «Técnicas tradicionales de construcción en Lanzarote», recogida en las *Actas del 4º Congreso nacional de Historia de la Construcción*, así como nuestra publicación de reciente aparición *Arquitectura popular de Lanzarote.*
11. El capítulo 9 de nuestro libro *Arquitectura popular de Lanzarote* (Cárdenas y Chávarri, Maldonado Ramos, Gil Crespo 2007) es un glosario en el que se han recogido todos estos términos referidos para la construcción.
12. Sancho de Herrera, apodado «El Viejo» por su longevidad —alcanzó los 92 años—, fue hijo de don Diego García de Herrera y doña Inés Peraza de las Casas, condes de La Gomera y señores de Lanzarote, Fuerteventura y El Hierro. Recibió el señorío de Lanzarote en 1485. Contrajo matrimonio con doña Violante de Cervantes, si bien no tuvo descendencia legítima. De sus relaciones con doña Catalina da Fra, nieta del último rey aborigen, Guadarfía, nació doña Constanza Sarmiento de Herrera y Rojas, quien heredó el señorío en 1534, cuando falleció su padre (Clar Fernández 1996). Por lo tanto la datación de la construcción de la Gran Mareta ha de hacerse entre 1485 y 1534.
13. Hernández Gutiérrez y Perera Betancort (dir.)2003, 57.
14. Hernández-Pacheco [1907–1908] 2002, 241.
15. Lobo, Miguel. 1860. *Derrotero de las Islas Canarias*. Trascrito en Clar Fernández 1996, 309.
16. Hernández Gutiérrez y Perera Betancort (dir.)2003, 57.
17. Quintana Andrés y Perera Betancourt 2003; documento 15.
18. *Primera carta del Aiuntamiento de Lanzarote al la Real Audiencia*. 17 de octubre de 1730. Citado en Romero Ruiz (1997).
19. Suárez Pérez 2005.
20. Hernández Gutiérrez (coord.) 1999.
21. J. D. D. 1847. «Viajes. La isla de Lanzarote», en *La Aurora*, Santa Cruz de Tenerife. Trascrito en Clar Fernández 1996, 297.
22. El canto es un material utilizado en las construcciones de Lanzarote. Se trata de cenizas volcánicas conglomeradas por acciones físicas. Es de fácil labra, si bien su resistencia mecánica no es muy alta. Se emplea en forma de sillares. Puede consultarse más información acerca de este material, así como los resultados de los ensayos de laboratorio en Cárdenas y Chávarri, Maldonado Ramos y Gil Crespo 2007.
23. Martínez Puebla, Prieto Ruiz y Centellas Bodas 1997.
24. Eduardo Hernández-Pacheco [1907–1908] 2002, 111.

Lista de Referencias

Capel, Horacio. 2001. «Las Islas Canarias en 1770, según un informe del ingeniero militar Francisco Gozar». En *Biblio 3W. Revista Bibliográfica Geografía y Ciencias Sociales* 291. Barcelona: Universidad de Barcelona (puede consultarse en www.ub.es/geocrit/b3w-291.htm).

Cárdenas y Chávarri, Javier de; Luis Maldonado Ramos e Ignacio Javier Gil Crespo. «Arquitectura popular de la isla de Lanzarote» (curso celebrado en julio de 2005 en Arrecife, Lanzarote).

Cárdenas y Chávarri, Javier de; Luis Maldonado Ramos e Ignacio Javier Gil Crespo. 2005. «Técnicas tradicionales de construcción en Lanzarote». En Huerta Fernández, Santiago (ed.). 2005. *Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, COAC, COAATC.

Cárdenas y Chávarri, Javier de; Luis Maldonado Ramos e Ignacio Javier Gil Crespo. 2007. *Arquitectura popular de Lanzarote*. Madrid: Fundación Diego de Sagredo.

Clar Fernández, José Manuel. 1996. *Lanzarote. Apuntes para su historia.* Lanzarote: Cabildo de Lanzarote. Centro de la Cultura Popular Canaria.

Expósito Suárez, Miriam C. *et al.* 1999. *La cultura del agua en Canarias.* Canarias: Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias.

Fernández Quintero, Antonio *et al. Inventario de Bienes Inmuebles. Estructuras destinadas al almacenamiento de agua.* Cabildo de Lanzarote (el equipo estuvo formado por Antonio F. Fernández Quintero, Mercedes Barba Domínguez, Mª José Dévora Perdomo, Sonia M. Morales de León, Juan R. Arteaga Izquierdo y Rita Marrero Romero).

Flores López, Carlos. 1973?1977. *Arquitectura Popular en España.* Madrid: Ediciones Aguilar (el equipo redactor del capítulo «Arquitectura popular del archipiélago canario» estuvo formado por, Luis Alemany Orella, Sebastián Matías Delgado, Faustino García Márquez, Carlos Schwartz Pérez, Pedro Gómez Barañano, Adrián Alemán de Armas, Francisco Rojas Fariña y Francisco Ojeda Espino).

Hernández Gutiérrez, A. Sebastián (coord.). 1999. *Patrimonio histórico de Arrecife de Lanzarote.* Arrecife: Cabildo de Lanzarote.

Hernández Gutiérrez, A. Sebastián y Mª Antonia Perera Betancort (dir.). 2003. *La villa de Teguise.* Arrecife: Cabildo de Lanzarote (incluye un CD-ROM).

Hernández-Pacheco, Eduardo. [1907–1908] 2002. *Por los campos de lava. Relatos de una expedición científica a Lanzarote y las Isletas Canarias, Descripción e historia geológica.* Lanzarote: Fundación César Manrique.

Lobo Cabrera, Manuel y Pedro Quintana Andrés. 1997. *Arquitectura de Lanzarote en el siglo XVII. Documentos para su historia.* Arrecife: Cabildo de Lanzarote.

Manrique, César. 1974. *Lanzarote, arquitectura inédita.* San Sebastián: Gráf. Valverde (2ª edición de 1988: Arrecife: Cabildo de Lanzarote).

Martín Rodríquez, Fernando Gabriel. 1978. *Arquitectura doméstica canaria.* Santa Cruz de Tenerife: Aula de Cultura de Tenerife.

Martínez Puebla, Esperanza; Jesús Prieto Ruiz y Aurelio Centellas Bods. 1997. *El Parque Nacional de Timanfaya. Guía de visita.* Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, Organismo Autónomo Parques Nacionales.

Mestre, Victor. 1985: «As coberturas de barro. Ilha do Porto Santo». En *Jornal dos Arquitectos* 35/36 (marzo/abril de 1985).

Morales Matos, Guillermo y Ramón Pérez González (dir. y coord.). 2000. *Gran Atlas Temático de Canarias.* Santa Cruz de Tenerife: Editorial Interinsular Canaria.

Olive, Pedro de. 1985. *Diccionario Estadístico-Administrativo de las Islas Canarias.* Barcelona.

Perera, Carmen *et al.* 1986. *Vivienda tradicional* (mecanoscrito en 4 tomos en forma de borrador de publicación basado en entrevistas grabadas y que se centra en los municipios de Tinajo y Yaiza. El equipo de trabajo se componía por Carmen Perera, Mª Antonia Perera, Teodora Quintana, Manolo Ochoa, Nieves de León, Ana Betancort y Margarita Cejudo).

Prats, Fernando (dir.) *et al.* 2004. *Análisis* de *los materiales empleados en la edificación en la isla de Lanzarote desde una perspectiva medioambiental.* Lanzarote: Cabildo de Lanzarote/La Caja Insular de Ahorros de Canarias.

Romero Ruiz, Carmen. 1997. *Crónicas documentales sobre las erupciones de Lanzarote.* Lanzarote: Fundación César Manrique.

Suárez Pérez, Amanhu. 2005. *Condicionantes ecológicos, sociales y técnicos en la construcción de la desaladora de La Aldea.* Gáldar, Gran Canaria: Infonortedigital.com.

VVAA. 2000. *Seminario sobre Arrecife. Septiembre, 1998.* Lanzarote: Cabildo de Lanzarote y Ayuntamiento de Arrecife.

Comportamiento estructural de la fachada de Mediodía de la Catedral de Lleida

Albert Casals Balagué

La presente ponencia aporta las conclusiones sobre lo indicado en el título, teniendo como base las investigaciones encargadas por la Generalitat de Catalunya.

La fachada en cuestión, de fábrica de piedra con aberturas ojivales, está pautada por contrafuertes, cuya misión aparente es la de aportar estabilidad al conjunto de la misma, pues recibe el empuje de las bóvedas de crucería del interior.

El conjunto presenta unos desplomes notables. La realización de una serie de estudios multidisciplinarios proporcionó un conocimiento constructivo-estructural de la fachada y su cimentación que sirvió para determinar las causas de la patología indicada.

El estudio mediante estática gráfica, siguiendo las doctrinas de Heyman y Huerta,[1] fue concluyente: se comprobó que la posición de la resultante de los empujes no explicaba el desplome mencionado, pues, independientemente de la presencia de los contrafuertes, la fachada es autoestable.

La razón del desplome mencionado se pudo averiguar gracias a las investigaciones sobre la configuración constructiva de los contrafuertes y también sobre la capacidad resistente del terreno. Pero, por encima de todo, la causa principal parece ser la especial estructura geológica del terreno en el plano de contacto con la cimentación.

Del conjunto de investigaciones realizadas se puede inferir que, siendo suficientemente estable la fachada frente al empuje de las bóvedas, serían los contrafuertes y su peculiar cimentación, la causa del desplome del conjunto.

Fachada de mediodía de la Catedral de Lleida

Descripción básica y estado actual

La fachada que nos ocupa es la de la galería Sur del claustro de la catedral (fig. 1).

La forma general del claustro en planta es trapezoidal y la galería que rodea el patio claustral interior está compuesta por dieciséis tramos de bóvedas de crucería, que presentan grandes diferencias dimensionales entre ellos, debido, según la opinión general de los historiadores, a la necesidad de adaptarse, tanto constructiva como compositivamente, a las edificaciones existentes que eran, en el lado septentrional, Santa Maria la Antigua y en el occidental, la Iglesia de la Seu propiamente dicha (fig. 2).

Además, el claustro se sitúa en una plataforma elevada en la ladera de la colina que domina la ciudad de Lleida, para formar la cual se precisó de la construcción de un muro de contención de las tierras que forman el desnivel; sobre este muro se elevó la fachada de la galería que delimita el claustro.

Por lo tanto, el paramento del muro de contención y el paramento exterior de la galería que se eleva sobre él, forman la fachada Sur objeto del presente estudio, en la que destacan los grandes contrafuertes (ver, de nuevo, fig.1).

La altura entre la base del muro y el alero que corona la galería cubierta es de unos 22 m., con lo que los contrafuertes mencionados tienen esta altura poco común, y su función estructural parece obedecer, tan-

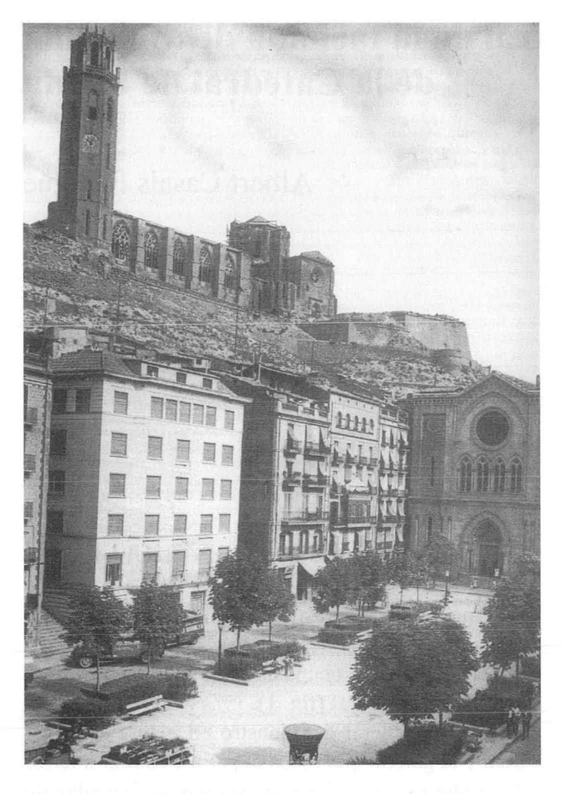


Figura 1
Vista de la fachada Sur de la Seu Vella de Lleida desde la parte baja de la ciudad

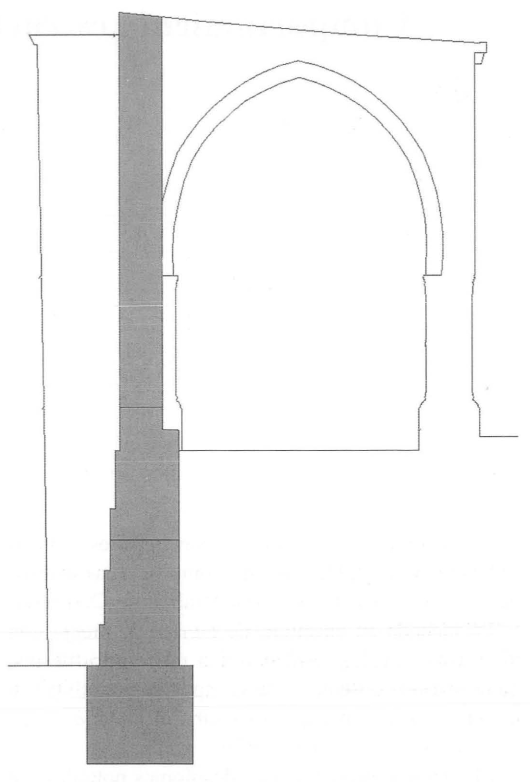


Figura 3
Sección de la fachada Sur, desde la plataforma inferior hasta el alero de cubierta

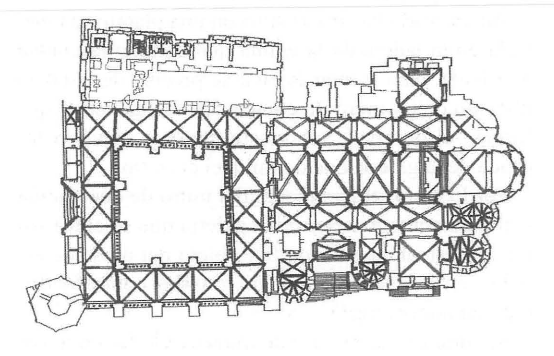


Figura 2
Planta general de la Catedral, con la situación del claustro en el extremo Sudoeste

to al contrarresto del empuje de las bóvedas de la cubierta como al refuerzo de la estabilidad del muro de contención de tierras (fig. 3).

Hay que hacer constar que las sucesivas intervenciones que se han ido realizando en el monumento dificultan la percepción y, por consiguiente, la interpretación de las lesiones que afectan a la fábrica del claustro, tanto en las bóvedas como en pilastras y contrafuertes.

De todos modos, la intervención de nuestro equipo fue requerida a causa de la evidencia de lesiones y desórdenes que hasta el momento no habían recibido una explicación plausible y que, por lo tanto, eran motivo de inquietud por parte de los responsables del mantenimiento del monumento, pues no se puede afirmar que lesiones y desórdenes visibles estén estabilizados y puedan seguir minando la integridad del mismo.

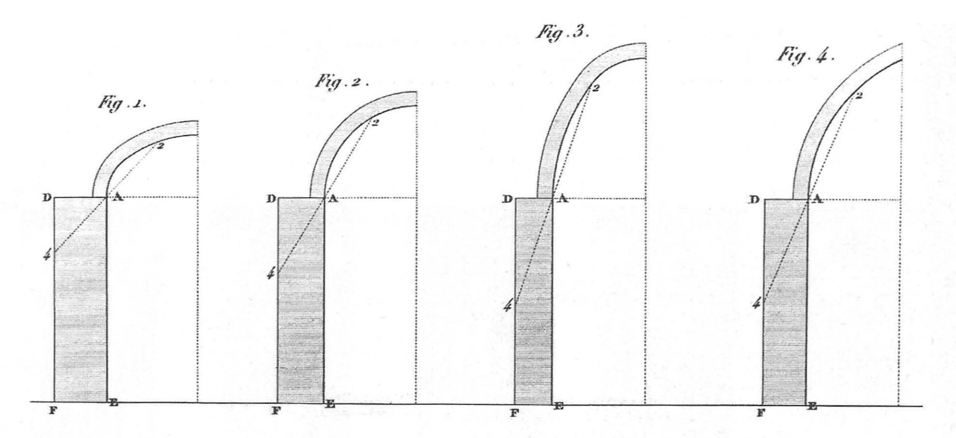


Figura 4
Exposición gráfica de la *regla del tercio* según Jean Rondelet

La presente ponencia se centrará en la descripción de los análisis llevados a cabo en la fachada de Mediodía del claustro de la Seu Vella de Lleida, tendentes a dar explicación de las lesiones y los desórdenes mencionados y de las conclusiones provisionales a las que se llegó.

Antecedentes documentales

Los estudios históricos comparativos afirman que el claustro de la Seu Vella de Lleida tiene unas dimensiones poco usuales, bastante superiores a las de otros claustros de la misma época y del mismo tipo formal y constructivo.

En el estudio histórico recibido por el equipo investigador existe una referencia muy significativa en la que se dice:

> para su construcción (del claustro) fue necesario realizar previamente un gran terraplenado, a fin de salvar el desnivel existente entre el suelo claustral y la pendiente de la montaña, por lo que hubo que dotar a la obra de potentes contrafuertes que garantizaran la seguridad y permitieran recoger las tensiones y las presiones de las bóvedas de crucería de la galería Sur.

Queda clara en esta referencia la creencia histórica en la necesidad de los «potentes contrafuertes» que habrían de contrarrestar el empuje de las bóvedas a la vez que reforzarían el muro de contención de tierras sobre el que el claustro se levanta (ver, de nuevo, fig. 3).

Hay que reconocer que esta creencia, a primera vista, no carece de lógica; aunque la seguiremos llamando «creencia» pues, de momento, no es otra cosa que una suposición sin ningún argumento científico que la avale.

Primera aproximación

Partiendo de la «creencia» histórica recurrente y no verificada antes mencionada, pero también de la evidencia física del desplome del contrafuerte, nuestra primera aproximación al problema nos llevó a aplicar la conocida *regla del tercio* que, como se sabe, permitía a los constructores medievales verificar gráficamente la estabilidad de los elementos estructurales verticales —pilastras y contrafuertes—, relacionándolos geométricamente con la dimensión de la bóveda (en nuestro caso de crucería) que les afecta. Aunque basada exclusivamente en proporciones geométricas, esta regla medieval está reconocida por todos los investigadores actuales, pues proporciona una primera aproximación a la estabilidad de los elementos verticales que la estadística demuestra situar del lado de la seguridad. Véase la figura 4 que representa gráficamente la *regla del tercio* según el tratado de Rondelet del siglo XIX.

Al aplicar la regla mencionada a nuestro claustro, se llegó a la sorprendente constatación de que la estabili-

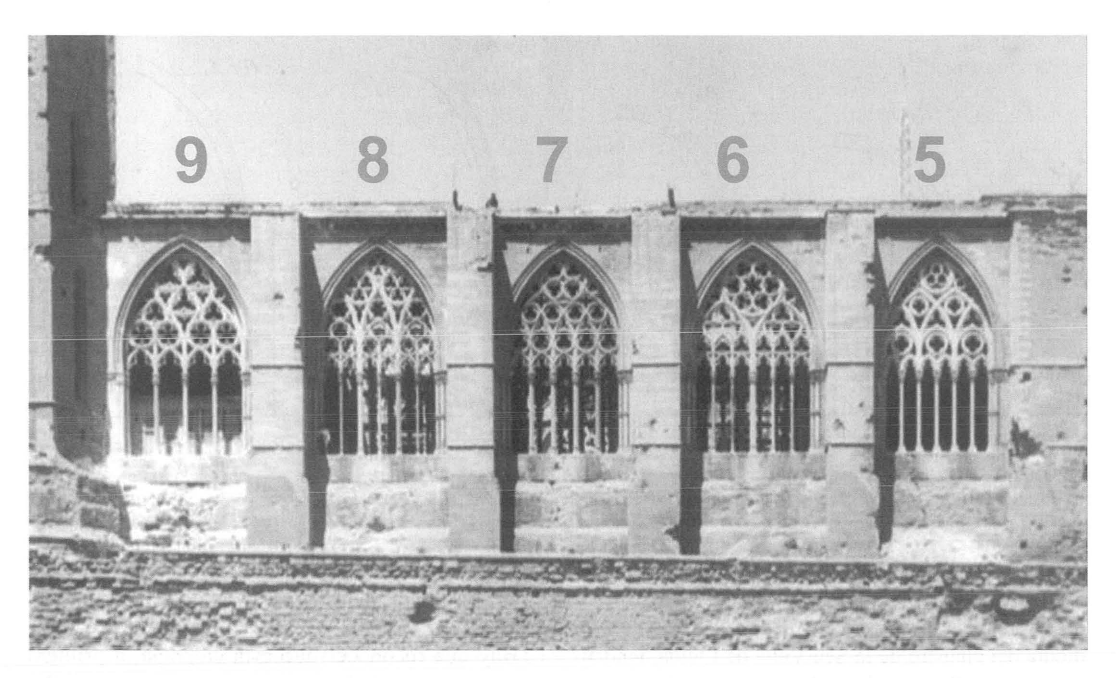


Figura 5
Alzado general de la fachada, con la numeración de los contrafuertes

dad del conjunto de la fachada Sur podía tener lugar aun sin la presencia de los contrafuertes mencionados.

Sin avanzar conclusiones, es preciso señalar el hecho de que todos los estudios recibidos por nuestro equipo dan por buena la «creencia» histórica antes mencionada en la función de contrarresto y refuerzo de los contrafuertes, la cual también es recogida sin crítica en los estudios estructurales recibidos y analizados por el equipo de trabajo; en ninguno de ellos se hace ninguna consideración que se refiera a la posibilidad de que dichos elementos puedan ser innecesarios o sobredimensionados.

Sin embargo, como veremos más adelante, esta posibilidad, de ser cierta, puede llegar a tener una gran relevancia en el comportamiento estructural y en el cuadro patológico de la fachada Sur de la Seu Vella de Lleida.

PRIMERA INSPECCIÓN GENERAL

Para comprobar el gran desplome que padece el conjunto de contrafuertes basta una simple ojeada enfilando visualmente dicho conjunto (el término *colimar* sería apropiado, pues significa «alinear los diversos elementos que constituyen un sistema óptico»).

Por su parte, las bóvedas que lógicamente deberían producir los empujes que originarían tales desplomes no presentan fisuras de una magnitud tal que permitan confirmar fehacientemente la hipótesis.

Los desplomes, inicialmente observados a simple vista, fueron medidos más tarde con precisión, obteniéndose los valores siguientes (fig. 5):17 cm para el contrafuerte 5D, 32 cm para el 5–6, 25 cm para el 6–7 y 21 cm para el 7–8.

El desplome del 8–9 no se ha podido medir a causa de la banqueta que lo impide, pero parece ser de magnitud inferior a los de los anteriormente mencionados.

Con esas mediciones se puede inferir que el desplome se inicia en el contrafuerte 5D y aumenta en el 5–6, para ir disminuyendo progresivamente hasta llegar a la torre del campanario, la cual no parece presentar ningún desplome apreciable.

Por otra parte, se pueden observar grandes alteraciones en la fábrica de la fachada, concretamente en



Figura 6
Desplazamiento relativo de los sillares del contrafuerte con respecto a los del tímpano

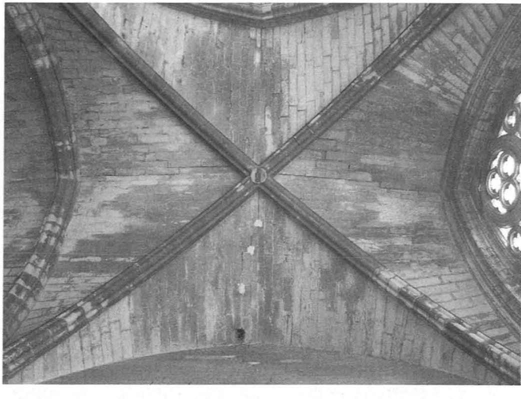


Figura 7
Fisuras en el intradós de la bóveda nº 5. Su magnitud no es proporcional al desplome de los contrafuertes exteriores

el encuentro de los paramentos laterales del coronamiento de los contrafuertes con los sillares que llenan los tímpanos de los arcos 5, 6, 7, 8 y 9 de esta fachada Sur. Estas alteraciones consisten en unos desplazamientos de las hiladas superiores de los tímpanos que, según una primera hipótesis, serían arrastrados por el avance de los sillares laterales de los contrafuertes al existir una buena traba entre ambos (fig. 6).

Más adelante se intentara verificar la certeza de esta hipótesis, la cual se tomó como punto de partida para las investigaciones que se describen a continuación.

Formulación de las primeras hipótesis causales

Como resultado de los análisis visuales iniciales de las bóvedas de la galería que discurre detrás de la fachada de Mediodía se puede afirmar que, excepto la bóveda nº 5, ninguna otra presenta deformaciones congruentes con el gran desplome de los contrafuertes. Es decir, la suma de las aberturas de las fisuras de las dovelas de las bóvedas no es proporcional a la magnitud del desplome de los contrafuertes con los que se relacionan (fig. 7).

Con ello se puede conjeturar que no existe una relación clara de causa-efecto entre éstos y el empuje de las bóvedas.

La razón de las grandes dimensiones de los contrafuertes podría radicar en la necesidad de contención del terraplén y ello exclusivamente en el proceso de construcción, a medida que se iba subiendo la fábrica, pues en la actualidad, como se ha visto, tampoco su presencia y enorme sección son precisas para esta función.

Conclusiones provisionales

Después de este primer análisis se puede llegar a la conclusión provisional de que las hipótesis recibidas, que atribuyen las lesiones y alteraciones visibles a los empujes de las bóvedas sobre los contrafuertes y al de las tierras sobre el muro de contención, no son totalmente ciertas y que las razones han de ser necesariamente otras.

Nuestra experiencia en el análisis de casos similares, nos hace conjeturar una explicación basada en el hecho de posibles fallos del conjunto formado por la cimentación y el terreno sobre el que se asienta.

Ésta fue la nueva hipótesis que habría de presidir la siguiente línea de investigación.

Organización consecuente de la investigación

Como consecuencia de la nueva hipótesis formulada, la investigación se va a centrar en:

1. La obtención de datos relativos a intervenciones recientes y los que permiten reconstruir la evolución histórica de las lesiones. Todo ello tomando como fuente la extraordinaria cantidad de fotografías de que se dispone desde la época en que el edificio se convirtió en cuartel del Ejército hasta nuestros días.
2. Apertura de catas que, junto con un estudio geotécnico y petrográfico, han de permitir describir y discernir la constitución física y el papel estructural de los cimientos, del terreno y las consecuencias derivadas de la relación entre ambos.
3. Un análisis estructural más afinado que supere la mera aplicación de la *regla del tercio* mencionada anteriormente. De todos modos, nuestro análisis estructural va a seguir utilizando el método de la *estática gráfica*, que tan substanciosos rendimientos nos ha proporcionado en nuestros estudios estructurales anteriormente realizados.

Análisis de las fotografías

Ya se ha hecho mención de las anomalías que afectan los encuentros de los tímpanos de los arcos de la fachada Sur con los paramentos exteriores de los contrafuertes. En el análisis fotográfico que se describe a continuación se tratará de descubrir la evolución de estas anomalías.

Para ello se coleccionaron las fotografías que se hicieron una vez acabada la restauración de las tracerías, lo cual ocurrió alrededor de 1950. El método comparativo ha sido llevado a cabo entre las fotografías de la época y las actuales, convenientemente deformadas, a fin de conseguir una similitud formal congruente con la extracción de conclusiones.

Las fotografías nos permiten ver e identificar cada uno de los ventanales. En la de la figura 8 se puede ver el ventanal correspondiente a la bóveda nº 6. En el lado derecho no se observa variación substancial con respecto a la fotografía correspondiente a la época del inicio de la restauración. Las señales oscuras que parecen señalar las anomalías en los encuentros, son prácticamente idénticas en ambas fotografías, lo que permite suponer que en los últimos 50 años apenas se han producido variaciones.

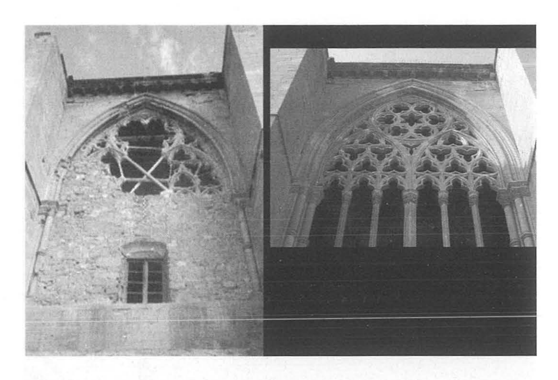


Figura 8
Antes y después del ventanal nº 6

La fotografía de la figura 9, en la que se compara la situación del arco nº 7, no permite hacer conjeturas tan precisas como la anterior, pero sí que autoriza a afirmar que las variaciones ocurridas son pocas. Lo mismo cabe afirmar de la arcada nº 8. Las arcadas nº 5 y 9 presentan pocas anomalías, razón por la cual no han sido sometidas a comparación.

La conclusión que se desprende de todo lo anterior es que las anomalías observadas en los contrafuertes no han sufrido variaciones significativas en los últimos 50 años.

Unas conjeturas todavía más concluyentes se han podido llevar a cabo con el recurso a un trucaje fotográfico que ha permitido comparar la imagen actual con la de las fotografías de 1930.

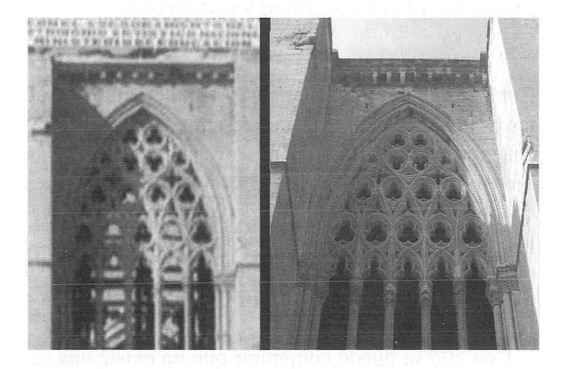


Figura 9
Antes y después del ventanal nº 7

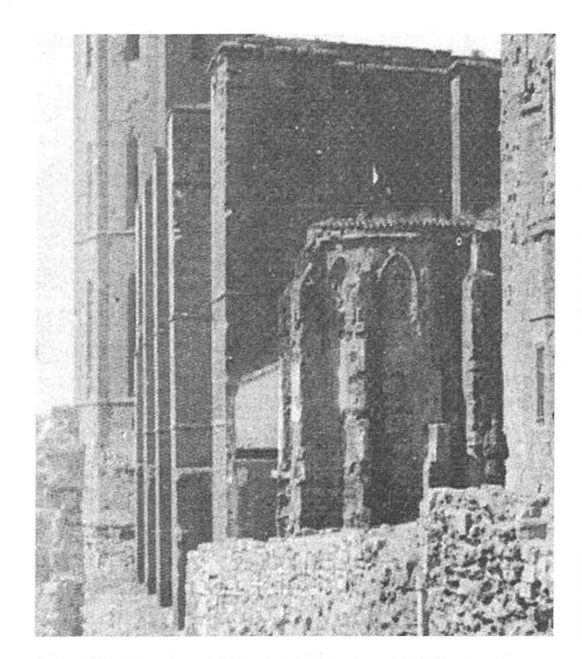


Figura 10
Desplomes de los contrafuertes, apreciables en la fotografía de 1930

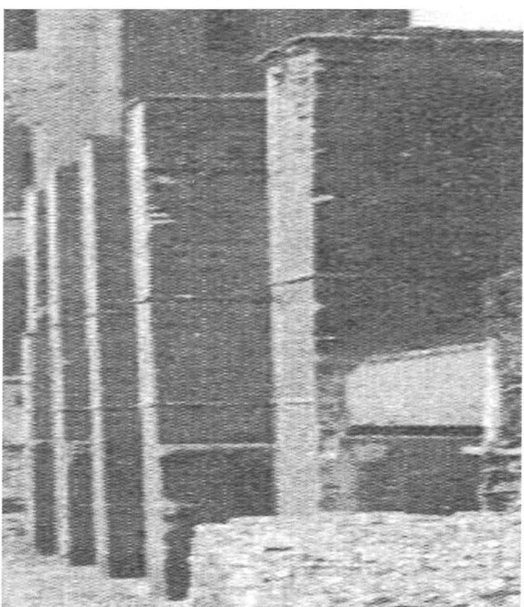


Figura 11
Trucaje fotográfico de la fotografía nº 10

En la figura 10 se aprecian con gran nitidez los desplomes que se pretende analizar. La figura 11 es una ampliación y reducción del campo de observación, a fin de darle el mayor parecido posible con la tomada en la actualidad (nov. de 2005).

El primer trucaje (fig. 12) se hace alargando la dimensión horizontal de ésta sin variar la vertical, con lo que el desplome se hace más perceptible al comparar el perfil del contrafuerte 5D con el 5–6. Detrás de éste se ven los demás cuyo desplome es menor, cosa que ocurre igualmente en la actualidad.

Al someter a la misma deformación horizontal la fotografía histórica (véase, de nuevo, fig.11), pese a que el punto de vista no es exactamente el mismo, y al superponer ambas fotografías deformadas, se puede ver que el desplome relativo de los contrafuertes es sensiblemente el mismo.

Cabe la posibilidad de que todos se hayan desplomado por igual o que, desde 1930 no se haya producido ningún desplome en su conjunto.

Se podría comparar este desplome con el de la torre, la cual se supone que no ha padecido deformación alguna; pero la vista perspectiva no permite hacerlo, pues con la imagen disponible es imposible asegurar la verticalidad de la torre de referencia. Se podría sacar una nueva fotografía, estrictamente igual a la histórica y manipularla convenientemente

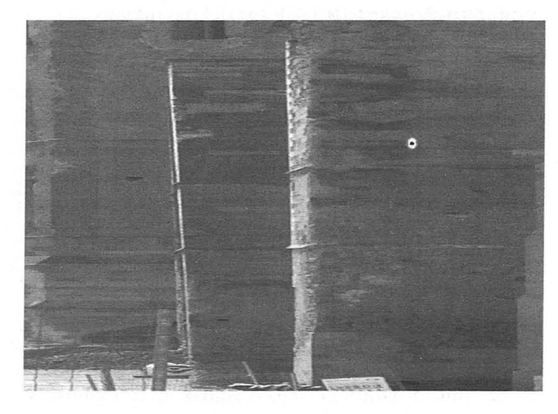


Figura 12
Trucaje fotográfico del mismo punto de vista actual que el de la fotografía nº 10

para llevar a cabo la comparación propuesta, cosa todavía no realizada.

En cualquier caso, lo cierto es que ya en 1930 existía un notable desplome, lo cual también es perceptible, aunque con menos evidencia en otras fotografías, lo cual nos permite suponer que el desplome actual tiene un origen antiguo.

Apertura de catas para la ampliación del conocimiento de la morfología constructiva

Las catas efectuadas en la parte correspondiente al lienzo entre los contrafuertes 7–8 y 2–3, en la que la afectación material previsible en el acabado de la cubierta era menor, nos permiten comprobar que la solución constructiva es la usual en la época en que el edificio fue construido, tanto si lo que hay sobre las bóvedas de crucería es una azotea como si hay un entrepiso; esto último, nuestro equipo ha podido comprobarlo en los estudios que simultáneamente lleva a término en el Monasterio de Poblet.

El relleno de los senos de las bóvedas está hecho con mampostería tomada con mortero de cal que, al día de hoy, presenta una gran compacidad. Según el estudio realizado por el equipo dirigido por Màrius Vendrell, se trata de un hormigón de cal aérea y áridos de medidas muy variables, que van desde fragmentos de 10–20 cm a la dimensión de la arena. Se profundizaron las prospecciones y se pudo comprobar que todo el relleno obedece a la misma composición, tanto en la parte más profunda de los senos, como en el mortero de agarre de las losas del pavimento.

Estas constataciones tendrán gran repercusión en el estudio que se hará posteriormente sobre el comportamiento estructural del conjunto ante el empuje de arcos y bóvedas.

Al abrir las catas previstas en los cimientos se pudo comprobar que nos hallábamos si duda ante uno de los elementos estructurales claves en el comportamiento general del conjunto. Desde el primer momento, la sospecha de que las prospecciones del terreno de cimentación tendrían un papel relevante en el análisis estructural, lo cual ha dado como resultado una campaña de prospecciones geotécnicas, dirigidas por el geólogo Antoni Batlle, muy extensa y laboriosa.

Centrándonos en el plano de cimentación del contrafuerte 2–3, podemos decir que su constitución es idéntica a la de las demás catas realizadas en el edificio y consiste en unos sillares muy bien tallados, incluso con las aristas perfectamente trabajadas, lo que les da un aspecto de almohadillado, aparentemente impropio de sillares destinados a una cimentación, obviamente enterrada; las juntas, de muy poco espesor, son de mortero de cal con árido de sílice, probablemente de río (en zonas más profundas aparece un árido de composición más caliza) (fig. 13).

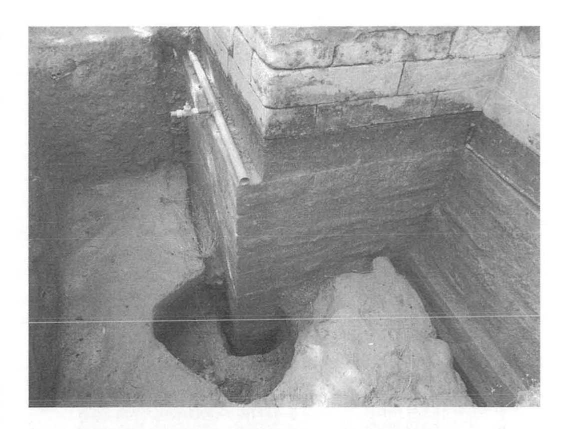


Figura 13
Cimentación a base de sillares bien tallados y aristados

Parece ser que estos materiales y esta técnica se pueden considerar habituales en los monumentos contemporáneos de la misma área geográfica, con lo que la teoría de un reaprovechamiento de sillares bien tallados para utilizarlos en la cimentación o la de que la supuesta cimentación podría tratarse de un muro inicialmente visto que fue soterrado con posterioridad, pierden verosimilitud y relevancia para nuestro trabajo.

A estas conclusiones sobre la forma y calidad de los sillares de la cimentación, se llegó después de escuchar las explicaciones de los miembros del equipo arqueológico que participaba en las prospecciones.

Análisis estructural más preciso

Para modelizar arcos, bóvedas y contrafuertes y el conjunto formado por todos ellos, se ha considerado idóneo el método derivado del llamado *análisis límite*, puesto a punto por Heyman, consistente en la comprobación de la forma y posición de la línea de

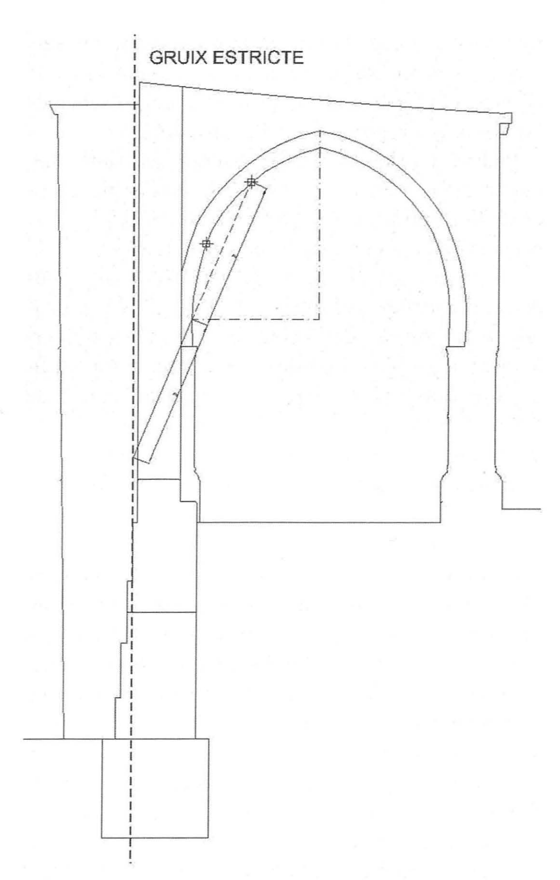


Figura 14
Según muestra el cálculo gráfico, el contrafuerte sería innecesario

presiones y la determinación del punto de paso de la resultante de todas las fuerzas actuantes. Esta comprobación se realiza con la ayuda del sistema de cálculo de la estática gráfica.

En cuanto a las cargas actuantes en los empujes provocados por las bóvedas, se ha considerado que el material de relleno de senos era poco consistente, al contrario de lo que las prospecciones habían permitido comprobar pues, como se ha dicho, la mampostería tomada con cal presenta una gran cohesión, propia del hormigón. La consideración de un material poco consistente da lugar a unos valores de los empujes mayores que si se supusiera que los senos están formados por un material concrecionado, que daría apenas empujes o no daría ninguno. Suponer el relleno poco cohesivo da unos valores más desfavorables para los empujes, lo cual nos sitúa del lado de la seguridad.

En el análisis gráfico del contrafuerte 6–7 se obtiene un resultado final (fig. 14) en el que la posición de la resultante de los empujes de las fuerzas no justifica el gran espesor del contrafuerte, ni permite concluir que dichos empujes sean la causa del desplome medido.

Nueva hipótesis

De todas formas, las fisuras visibles no permiten descartar definitivamente la teoría del empuje de las bóvedas sobre el lienzo de pared y de los contrafuertes que lo apean, como la causa de su desplome.

Esta contradicción entre el probable significado de las fisuras y la evidencia proporcionada por el cálculo gráfico de la innecesariedad de los contrafuertes, nos lleva a la formulación de nuevas hipótesis, pues, si se exceptúa la bóveda nº 5 del rincón, las demás, que están contiguas a los contrafuertes desplomados (y que serían lógicamente la causa de dicho desplome), no presentan anomalías significativas. Así pues, su empuje no puede ser la causa única del desplome.

Como se ha avanzado anteriormente, y después de observaciones mucho más detenidas, se comprueba que el desencaje de los sillares situados en el encuentro del lienzo de la fachada y el contrafuerte, puede constituir un indicio de que son los contrafuertes los que se desploman sin que el empuje de las bóvedas sea necesariamente la causa directa de ello.

Como es sabido, la fábrica medieval se compone de tres hojas: dos exteriores que forman los paramentos, de sillares bien tallados, y un núcleo interior relleno de mampostería; es el llamado *emplectum*, heredado de la construcción grecorromana.

En nuestro caso, parece como si la hoja exterior de la fábrica de los sillares se hubiera avanzado respecto de la que constituye el lienzo de la fachada, aún presentando una cierta traba entre ellas.

Se puede sospechar que no es el empuje la causa del desplome, por lo que habrá que proponer una nueva hipótesis, la cual apuntaría a una explicación en la que sería el cedimiento del terreno bajo el extremo exterior de los contrafuertes el origen del vuelco de éstos.

CONCLUSIÓN FINAL (TODAVÍA PROVISIONAL)

Los contrafuertes se apoyan realmente de manera asimétrica: en su parte más saliente, correspondiente a la hoja exterior del *emplectum*, estarían asentados directamente sobre el terreno, mientras que la hoja interior descansaría sobre el muro de contención del claustro, formando parte de él.

En cuanto al estado de la fábrica de sillería (fig. 15), ya se ha mencionado discontinuidad y cambio de plano, aparentemente inexplicables, entre los sillares de la parte superior de los contrafuertes con respecto a los del borde de la cornisa. Ambos, aún formando parte de la misma fachada están situados en planos distintos: puede que una restauración de la cornisa, llevada a su plano primitivo, dejara salientes las dos hiladas superiores del contrafuerte.

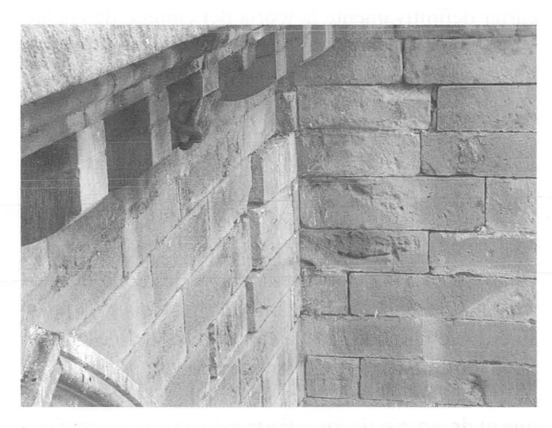


Figura 15
Pudiera ser que la hoja exterior del emplectum del contrafuerte arrastrara en su desplazamiento a los sillares del tímpano

Podría ocurrir que la hoja exterior del *emplectum* que forma la fábrica de los contrafuertes hubiera descendido a causa de un asentamiento diferencial respecto de la hoja interior, ligada a la del muro.

La morfología geológica del terreno, con grandes discontinuidades, colaboraría a provocar un asentamiento importante de la hoja saliente del contrafuerte, asentado sobre el borde de una placa estratigráfica, mientras que el muro, con una superficie de asiento mucho mayor y descansando sobre la parte interior del estrato, apenas sufriría asentamiento.

Hemos llamado a ésta «conclusión provisional» a causa de la falta de verificación que se espera llevar a cabo en una futura campaña geotécnica de mucho más alcance, la cual daría, además, explicación de los desórdenes estructurales observados en otros elementos constructivos del entorno del monumento y al comportamiento general de las edificaciones asentadas sobre la colina en la que se asienta la Seu Vella de Lleida.

NOTAS

1. Han sido especialmente útiles las indicaciones ya conocidas de las obras de Heyman y, especialmente, las dadas por Huerta, Santiago. 2004. *Arcos, bóvedas y cúpulas: geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Las ruedas de Larmahue: pervivencia en Chile de un sistema hidráulico español

Antonio de las Casas Gómez

Los orígenes

Como no podía ser de otra manera el origen de las norias hidráulicas de corriente se pierde en el origen de la historia y no se sabe con exactitud dónde aparecen por primera vez. Herodoto en el siglo V antes de Cristo da noticia de la existencia de ruedas que, movidas por la propia corriente, elevaban agua del río Eúfrates para regar los jardines de Babilonia.

Pero parece que en la época helenística, en las zonas de Siria y Egipto, fue cuando recibieron un amplio impulso y fueron los ingenieros de este origen los que la perfeccionaron ampliamente y difundieron el uso de este sistema de riego que permite elevar el agua aprovechando la energía proporcionada por la misma corriente. El primer tipo que se desarrollaría sería el de las ruedas que más adelante recibirán el nombre de «ruedas de sangre», esto es movidas por animales o por el propio hombre. En el primero de los casos un animal da vueltas en un círculo horizontal y mediante un engranaje tipo linterna se mueve la rueda vertical dotada de cangilones en ella misma o más frecuentemente en una cadena. Esta rueda curiosamente es la que más ha perdurado y se usaba hasta épocas muy recientes para elevar agua de pozos en muchas zonas de España y muchos otros países, incluso movida ya por motores eléctricos o diesel.

Referencias más exactas aparecen en Estrabón en las últimas décadas antes de Cristo referidas al valle del Nilo hablando de tornillos y ruedas, que bien podrían ser tornillos de Arquímedes y ruedas aunque no se tiene constancia de que se trate en todos los casos de ruedas de corriente y lo mismo ocurre con las referencias de época imperial.

Sin embargo aunque los romanos la tomasen de otros pueblos, como ocurre en buena parte de su acerbo cultural, ellos la perfeccionaron y generalizaron su uso extendiéndola además a buena parte de los territorios que constituían el imperio romano.

No obstante los primeros restos encontrados pertenecen a ruedas hidráulicas de tracción animal utilizadas en las minas y en España es donde se han descubierto en mejor estado. En las Minas de Tharsis o Riotinto en Huelva, se han encontrado los más importantes restos de las ruedas que se instalaron en las mismas para achique del agua, movidas por esclavos que caminaban sobre ellas a la manera de una escalera, forma más efectiva de hacerlo que mediante otras formas.

Por otro lado y dentro del mundo romano, han llegado hasta nosotros las descripciones de las mismas incluidas en *Los Diez libros de Arquitectura* de Vitrubio. En ellos se describen dos tipos de ruedas movidas por la propia corriente, la de cangilones y la de tímpanos. En ediciones posteriores podemos ver dibujos extraídos de las mismas descripciones con diversas interpretaciones.

El primer tipo consiste en una rueda construida en madera con estructura radial en cuyo perímetro se colocan unas paletas rectangulares también de madera y disposición igualmente radial. El eje horizontal de la rueda se sostiene en dos pilares de fábrica o

aparejos de madera lo que permite el giro de la misma. Al estar las paletas introducidas en una corriente de agua, ésta gira y en su movimiento elevan el que se introduce en unas vasijas, cubos, celemines, cangilones o arcaduces, de barro, metálicos o de madera, sujetos en el perímetro o bien en huecos practicados en la propia llanta circular exterior. Al llegar a una cierta altura empiezan las vasijas a verter el agua y se vacían completamente al llegar a la parte superior. Éste agua se vierte sobre un canal debidamente colocado en el costado de la misma que se continúa hasta llegar a las fuentes o los campos según su finalidad. De esta forma se eleva una porción del agua que discurre por la parte inferior elevándola algo menos del diámetro de la rueda. Más adelante veremos que estas ruedas romanas respondían a unos modelos más robustos que las utilizadas posteriormente por los árabes.

Cuando el agua de la parte inferior no tenía corriente la rueda se podía accionar por un operario, generalmente esclavo, que caminaba sobre las paletas haciendo que esta girase por el peso del mismo, denominándose entonces rueda de sangre. Cuando la altura a la que había que elevar el agua era mucha se colocaban varias ruedas en batería. En las Minas de Rio Tinto, los restos encontrados permiten asegurar que el agua se elevaba 29 m con una batería de ruedas de más de cuatro metros de diámetro.

El otro tipo descrito por Vitrubio es la rueda de tímpano, especie de cajón de forma circular o de rueda hueca con el espacio interior dividido en varios sectores y cada uno con dos huecos, uno en la llanta exterior y otro en la pared lateral cercano al eje. Según otras interpretaciones, y parece más probable que así fuese, el compartimento que se llenaba de agua ocupaba solamente una parte cercana al arco exterior del sector de la rueda. Por el primero entra el agua al penetrar la rueda en el agua y sale por el otro orificio o por el mismo cuando el sector se encuentra en la parte superior. La cantidad de agua que eleva puede ser mayor, pero la altura es solamente la mitad que en el tipo anterior. Puede ser igualmente accionada por una corriente agua o por una persona caminando.

El medievo y el renacimiento

Referencias más precisas y abundantes sobre el uso de norias fluviales proceden de la época medieval y van desde los países islámicos del próximo oriente hasta las diversas regiones españolas.

Solo a título de ejemplo podemos citar al historiador persa al-Baladuri, fallecido en el año 892, narra en sus escritos cómo fueron instaladas varias de estas norias en un canal cercano a Basra (Iraq) en la segunda mitad del siglo VII; al-Muqaddasi se refiere a las ubicadas en la ribera de la ciudad de Ahwaz (Irán) a fines del siglo X. Del siglo XII data el famoso *Tratado de Geografía de Yuqut*, donde se citan las conocidas norias emplazadas sobre el río Orontes a su paso por la localidad de Hama (Siria) y que todavía existen en la actualidad.

En Hama, en las orillas del río Orontes que irriga gran parte de las planicies fértiles de Siria se conserva hoy una presa que surte de agua a tres norias cuyos orígenes se remontan probablemente a la época helenística y con toda seguridad en la época romana. Posteriormente se irían agregando otras hasta llegar a un número cercano a la centena para irrigar los campos alrededor del Orontes. Las norias de Hama, como ocurrirá más tarde entre nosotros, tienen nombre y personalidad propia. Dos de las actualmente existentes en el centro de la ciudad, se conocen por los nombres de Al-Jisriyye y Al-Mamouriyye. Los tratadistas de mecánica árabe describen varios tipos de ruedas hidráulicas y entre ellas las ruedas de corriente.

En el extremo oriente, Lijiang es una moderna ciudad china que cuenta con un centro antiguo cuidado-

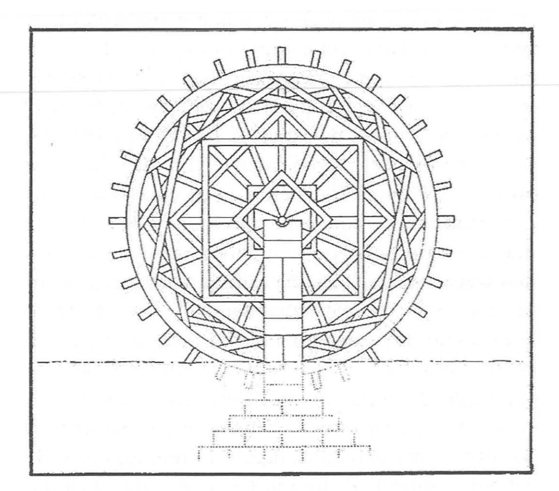


Figura 1

samente restaurado, en él existen dos norias para elevar el agua, pero no conocemos con exactitud su antigüedad aunque posiblemente sea bastante posterior a las del próximo oriente.

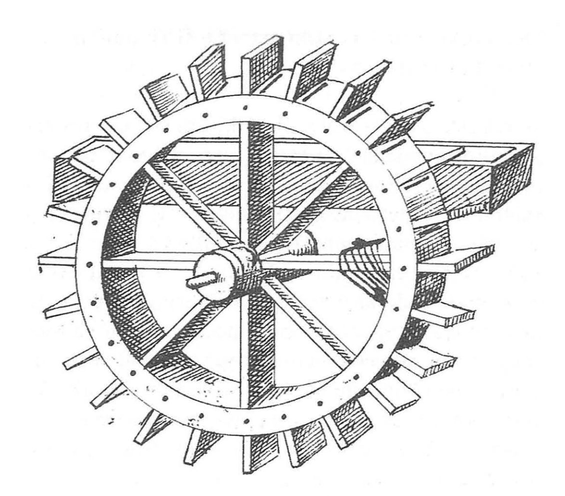


Figura 2

Aunque como ya hemos visto no deba atribuirse a los árabes la invención de la ruedas hidráulicas, ni su difusión en España, si parece que en la época musulmana se hizo un uso más generalizado de las mismas y que en esta época llegó a haber una gran cantidad de estos artificios en forma de rueda con aspas que, movidos por la propia corriente de agua, permiten elevar una parte de la misma a alturas considerables. Los toponímicos repartidos por la zona nos hablan de la existencia de norias en muchos pueblos y la generalización del vocabulario árabe hasta la actualidad para la descripción de las mismas, nos dan una idea bien clara de la importancia que tuvieron en este periodo.

Las norias fluviales han sido conocidas en la Andalucía desde fines de la Edad Media por el término de «norias de vuelo». Su nombre, *naura*, deriva del verbo árabe *na'ar*, que significa gruñir o gemir, en clara alusión al característico sonido que producían cuando estaban en movimiento.

Así lo testimonia el sevillano Ibn Hisam al-Lajmí, en el siglo XII, al indicar que «la máquina de gran envergadura, redonda, con paletas finas en las que bate la corriente de agua, de forma que sólo necesite de ésta para girar, es llamada *an.naura*; sólo se establece al lado de un río y al girar produce un chirrido que es causa de que se llame así (gemidora)».

Desde Oriente, los musulmanes difundieron el uso de la noria fluvial por el Mediterráneo y, ya en la propia Edad Media, son numerosos los cronistas y geógrafos andalusíes que se refieren a las existentes en Al-Andalus. Al-Idrisi habla de las ruedas de Toledo y de Talavera, ambas sobre el Tajo; al-Himyarí menciona las existentes en la ciudad de Murcia; y Al-Maqqari varias situadas sobre el Guadalquivir.

A finales del siglo XV, cuando Jerónimo Sánchez realiza su conocida descripción de la ciudad de Córdoba, alude a los «chirridos sonoros de su eje» como una característica sobresaliente de la noria de la Albolafia que según la leyenda mandó desmontar la reina Isabel porque la molestaba el ruido. Tan peculiar sonido ha determinado que estas norias hayan sido también conocidas históricamente por el nombre de chirriones.

Las referencias literarias medievales son muy numerosas y van desde las Etimologías de San Isidoro en el siglo VI hasta finales del siglo XV tanto en la zona musulmana como posteriormente en la cristiana, así como las representaciones entre las que destacan unos sellos de Córdoba, Murcia y Zamora en donde aparecen claramente unas ruedas de corriente.

En el libro del XVI, *Los Veintiún Libros de los Ingenios y las Máquinas*, ya en pleno Renacimiento, atribuido tradicionalmente a Juanelo Turriano, sea éste o no su autor se recopilan buena parte de los conocimientos de la época y concretamente se recogen dos figuras con los dos tipos de norias de corrientes siguiendo en buena medida las descritas ya en los libros de Vitrubio.

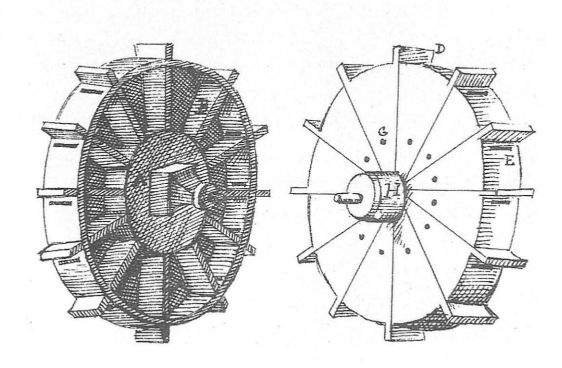


Figura 3

Pervivencia de las norias en la actualidad en el Levante español

Murcia, Andalucía y el valle del Ebro son las tres regiones en donde las ruedas de corriente tuvieron mayor difusión aunque una de las más famosas es la que hubo en Toledo para abastecimiento de la ciudad y no estén ausentes tampoco de Castilla y León.

En Murcia el sistema estaba muy extendido y se tiene noticia de la existencia de varias decenas de ellas de las que perviven unas pocas, si bien ya más como restos arqueológicos a disposición de los visitantes, que realmente como instrumentos de utilidad práctica y en todos los casos muy reconstruidas. Las norias de Alcantarilla, la Ñora y nos permiten aún verlas en funcionamiento.

En Archena, en la Acequia de la Caravija, la Acequia de Molina y la Acequia de Alguazas existían numerosas norias actualmente en desuso y en mal estado de conservación. La noria de los Chirrinches estuvo funcionando hasta 1992, es la que mejor documentada está gracias al libro de actas proporcionado por Francisco López «El Chato», recientemente fallecido, que comienza en 1910 y donde aparecen los Estatutos de la Sociedad La Rueda de los Chirrinches e infinidad de acuerdos de reparaciones y repartos ocasionados por la rueda. Esta noria junto con la noria del Matar y noria de Matias Martínez son de características y dimensiones similares, con muros de obra hasta arriba para evitar que el viento se llevara el agua fuera de la canal de desagüe, donde vierten los cangilones. Son de estructura y eje de hierro con palas y cangilones de madera y su diámetro es de 7 a 8 metros.



Figura 4

Las tres norias de La Algaida, noria del Acebuche, noria de la Cierva y noria de la Vicenta, son de hierro, palas rectas de madera y cangilones del mismo material. Su tamaño impresiona, alcanzando la del Acebuche un diámetro de 12 metros y 24 centímetros y que la convierten en la más grande de la región. Las tres se encuentran en la Acequia de la Caravija.

En el linde con el término municipal de Ceutí, en Los Torraos, se encuentra la noria del Boticario, sobre la Acequia Mayor de Alguazas, su diámetro es de unos 10 metros y es totalmente metálica, más moderna y se caracteriza por tener palas curvas para aprovechar mejor el empuje del agua.

En Abarán, existen en la actualidad cuatro norias:

- La Noria de la Hoya D. García tiene un diámetro desde la corona de 8,20 metros, el ancho es de 1,12 metros, 48 cangilones en cada lado de su corona, 24 radios y 48 palas, está hecha de madera y hierro dulce. Tiene un rendimiento de 42,23 litros por segundo y, situada en la acequia principal de Blanca, riega 233 tahúllas de cítricos, frutales de hueso y hortalizas. Aparece citada en documentos desde 1818 y su última reconstrucción es de 1951.
- La Noria Grande fue construida en 1805 y reconstruida también en 1951, tiene un diámetro desde la corona de 11,92 metros y un ancho de 1,18 metros, 64 cangilones en cada lado, 32 radios y 64 palas, está hecha de madera y hierro dulce. Tiene un rendimiento de 25 litros por segundo. Eleva el agua de la acequia principal de Blanca y riega 155 tahúllas de cítricos, frutales de hueso y hortalizas. Es la noria de mayor diámetro, de las que están en funcionales en la actualidad de toda Europa.

- La Ñorica y la Candelón situadas en la margen derecha del río Segura, elevan el agua de la acequia de la Charrara. La primera tiene un diámetro desde la corona de 5 metros, un ancho de 40 centímetros, esta dotada de 40 cagilones situados en una sola corona, 20 radios y 40 palas de perfil plano. La de Candelón tiene un diámetro desde la corona de 6 metros, un ancho de 48 centímetros, esta dotada de 40 cagilones situados en una sola corona, 16 radios y 40 palas de perfil plano. En los dos casos se tienen datos desde 1850 en que eran totalmente de madera, aunque en la actualidad son totalmente de hierro.

En Lorquí la «Noria del Rapao», situada en el paraje de la Arboleda, fue declarada Monumento Histórico Artístico Nacional. Construida en el siglo XVIII su estructura es de hierro pero hoy funciona con un pequeño motor.

Son dignos de mención en Andalucía los conjuntos de ruedas existentes en Palma del Río en el río Guadalquivir, las norias de Castro del Río sobre el Guadajoz, o las que se conservan varias en Puente Genil, Palma del Río y Écija, muchas de ellas en funcionamiento en los años 40 y 50 del s. XX, y de la que una ha llegado hasta nuestros días, bien que modificada con sus componentes en hierro fundido, Además, en los últimos años, se han restaurado las situadas en Córdoba (Albolafia, 1965), Albendín (Baena, 1993) y Castro del Río.

El geógrafo Marcel describe una de las ruedas instaladas en las inmediaciones de la localidad de Palma del río de 9 m de diámetro y construida con madera de roble. Y J. Bruñes afirma que «en Palma del Río, sobre el Genil, la huerta está regada no ya por medio de norias ordinarias, sino por medio de grandes ruedas verticales de paletas y cubos, movidas por el mismo curso de agua . . . se cuentan veinte de estas grandes ruedas, varias con diámetro de nueve metros y . . . no hemos visto otras parecidas sino muy lejos de aquí, en la Fayoum (Egipto)».

Leopoldo Torres Balbás, asegura que, poco antes de la Guerra Civil, existían en Palma unas 25 norias de cangilones. De ellas, aún subsistían varias en los años 60 del siglo XX, pues Félix Hernández las estudió y se inspiró en ellas para reproducir la noria de la Albolafia de Córdoba, en concreto la de El Higueral, Las Delicias y la del Paseo, junto al pago de La Chirritana.

Andrés Llauradó describe las presas que servían para hacerlas funcionar diciendo, «como la corriente normal del río no bastaría para poner dichas ruedas en movimiento, se establecen presas de pilotaje y escollera, con las cuales se obtiene un salto, generalmente de un metro de altura. Están formadas por pilotes con relleno de piedra suelta y una escollera en talud en el paramento de aguas abajo. Las aguas represadas pasan a un canalizo de mampostería, construido a orillas del río . . . En el canalizo abierto en uno de los costados de la presa se instala la rueda de arcaduces y, en algunos casos, se colocan dos o tres a lo largo del mismo canalizo».

Y J. Brunhes afirma: «la corriente natural del río, no bastando para poner las ruedas en movimiento, se interrumpe por pequeñas presas que originan caídas de un metro; a cada rueda corresponde una pequeña presa; y a cada rueda y a cada presa corresponde una pequeña zona de regadío muy poco extensa. De aquí que el pequeño número de propietarios de cada una de estas zonas se entienda fácilmente para el mantenimiento de esa curiosa instalación hidráulica».

Actualmente se conservan varios restos de estas azudas, junto a las que estuvieron emplazadas norias o molinos, sobre el río Genil en el término de Palma del Río. En concreto las dos más completas están ubicadas en la Huerta de San Francisco, junto al molino de Barrios, y en la zona de Duques y Flores, junto a los restos de la Electro-harinera. Son las mejor conservadas al encontrarse situadas junto a molinos de harina o centrales de producción eléctrica que funcionaron hasta hace pocos años.

En Albendín, Baena (Córdoba) las Norias fueron apoderándose de las orillas del rio Guadajoz, hasta tal punto que el trayecto de cauce que va desde la desembocadura del rio Vibora hasta Blinca estuvo tomada por 18 de estas Norias, existiendo numerosos artesanos que se dedicaban al oficio del montaje y reparación de estas ruedas de madera. Sustituidas por bombas meCánicas, la última Noria de Albendín desaparece en el año 1970, noria que se encontraba ubicada en la casilla de las Eras. Gracias al ayuntamiento una Nueva Noria comenzó a funcionar en 1986, con la simple misión de regar el parque Municipal y como objeto de ornamentación.

Otras norias de las que existen noticias son las situadas sobre el Genil en Écija, testimoniadas por José Rodríguez Molina, de las que se tiene noticia desde 1500 en el pago del Casarejo y otros lugares del tér-

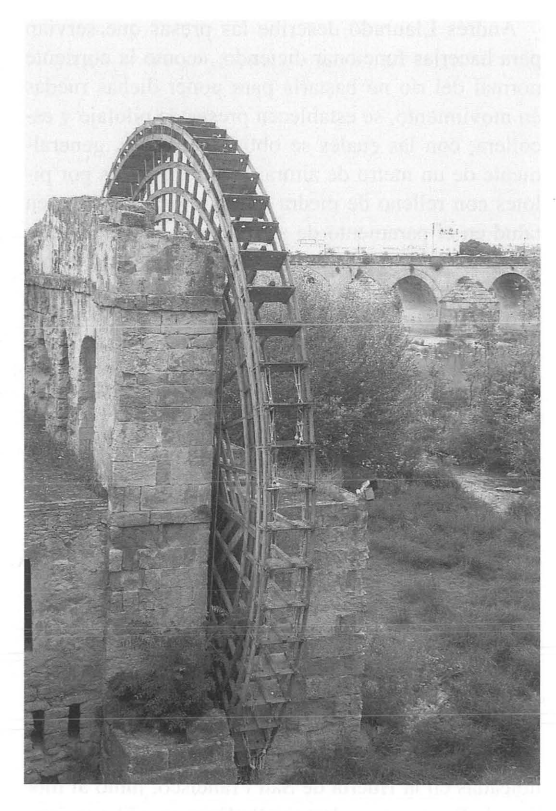


Figura 5

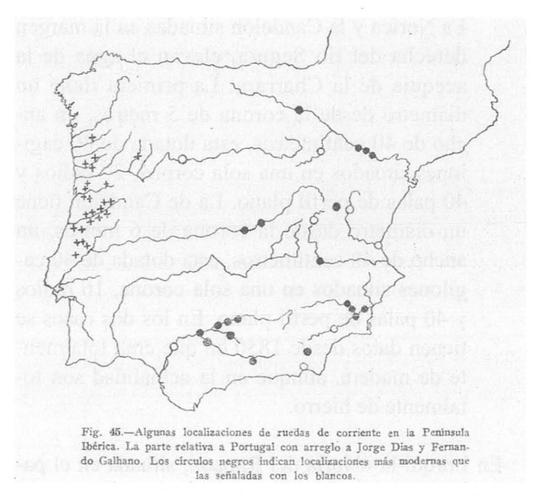


Fig. 45.—Algunas localizaciones de ruedas de corriente en la Peninsula Ibérica. La parte relativa a Portugal con arreglo a Jorge Dias y Fernando Galhano. Los círculos negros indican localizaciones más modernas que las señaladas con los blancos.

Figura 6

mino o la de la aldea lucentina de Jauja. En Castro del río (Córdoba) documentadas desde el siglo XV en el Rincón de Sotogordo, la Alameda o la Vega.

La más famosa de toda Andalucia, la Albolafía de Córdoba, fue reconstruida en los años 60 por Felix Hernández inspirándose en la ruedas existentes entonces en Palma del Río

En la cuenca del Ebro se tiene noticia de un buen número de norias entre las que cabe citar sin pretender ser exhaustivos, dos en Lodosa en la provincia de Navarra, descritas con detalle en el Diccionario Geográfico-histórico de principios del XIX y otras dos entre Fuenmayor y Logroño, tres en Gelsa, tres en Sástago, una en el monasterio de Rueda y otra en Camarasa, ya en Lérida.

La construcción de las norias tradicionalmente la llevaban a cabo maestros carpinteros. se fabricaban utilizando para ello «maderas duras» previamente curadas de las existentes en los alrededores. El uso de clavos o soportes de hierro era escaso o nulo empleándose cuñas y ensamblajes de madera. Las reparaciones las solían hacer los mismos dueños reponiendo sobre todo las piezas de los engranajes sujetas al desgaste por rozamiento.

En los siglos XIX y XX se construyeron norias de hierro, o se construyeron las existentes, con una mecánica más resistente y de menor mantenimiento aunque de mayor costo económico fabricadas por maestros herreros que procedían de manera similar a los carpinteros.

La elaboración de las cuerdas y maromas utilizadas frecuentemente para sostener las vasijas era una tarea comunal en la que intervenían varios vecinos o familiares tal como se hacía en las matanzas o en la trilla. Para ello se hacían guitas con las que se trenzaban sogas de tres ramales, las cuales se unían a su vez en grupos de 4 para formar cabos. Grupos de 4 cabos se trenzaban para constituir finalmente la maroma. Este proceso exigía el trabajo y la pericia de 6 ó 7 hombres que la estiraban, manipulaban y trenzaban las cuerdas. Un artilugio simple de madera con cuatro canales (uno por cabo) en forma de pirámide alargada llamada borrego cerraba el proceso de trenzado juntando los cabos de la maroma.

Las vasijas, llamadas jarros o arcaduces, tenían una capacidad de unos 4 litros, estaban hechas de ba-

rro y llevaban un pequeño agujero al fondo para su vaciado una vez que dejaba de girar la noria. Estas iban unidas mediante guitas .

Las ruedas de Larmahue

En Chile, en el municipio de Pichidegua en la sexta región del país, a unos 150 kilómetros al sur de Santiago, existe un conjunto de «ruedas», así las llaman allí, con unas características singulares que justifican que las traigamos aquí:

- Se trata de una concentración poco común
- Tienen una tipología singular con semejanzas y diferencias respecto a las de otras zonas
- Aún están en funcionamiento.



Figura 7

Se encuentran en el canal de Almahue, abierto a mediados del siglo XIX que lleva al río Tingiririca aguas de su afluente el Cachapoal y es administrado por la Asociación de Canalistas del Cachapoal. Tiene una longitud aproximada de 28 km y un caudal aproximado de 1.500 l/s. Riega una superficie de 9.000 Has en un terreno llano de gran fertilidad.

Como los terrenos adyacentes con frecuencia se encuentran más altos que el canal, se hace indispensable elevar el agua, lo cual no siempre era factible derivando acequias aguas arriba, por ello se recurre al sistema de las norias o ruedas de corriente, sistema introducido en el país por los españoles al menos desde el siglo XVIII.

No existe sin embargo apenas documentación ni testimonios de su existencia pero si algunos restos, como los de una rueda conservados en San Francisco de Mostazal a escasos 50 kilómetros al sur de Santiago, que son muy probablemente ya del siglo XIX o finales del XVIII. En el libro del viajero inglés John Miers, *Travels in Chile and La Plata, de 1826,* se habla y se hace un dibujo de una ferrería dotada de una rueda de aspas de madera movida por una caída de agua, pero no de ruedas de corriente para elevar agua y Caro Baroja relata que el Antropólogo George M. Foster le contó haber visto en las primeras décadas del siglo XX desde el tren, a unos 300 kilómetros al sur de Santiago, una rueda en funcionamiento para usos agrícolas.

No se conoce documentación antigua sobre las mismas y solamente unas pocas citas muy recientes sobre su existencia. Márquez de la Plata, en su libro *Arqueología del Reino de Chile* dice en un capítulo dedicado a los molinos:

> Allí están los bellos ejemplares que poco a poco van desplomándose. Su mecanismo estaba basado en las enormes aspas de madera, en cuyas extremidades quedaban los recipientes en leños con que se sacaba el agua. Esta era subida a diez, quince o más metros de altura, al girar la inmensa rueda con la corriente del canal. Muy en alto se asoman las canoas talladas a azuela, que son los acueductos que dan vida a la región. Lo que más llama la atención es el tamaño, pues algunos alcanzan hasta dieciocho metros de alto.
>
> Su aspecto es evocador y de gran hermosura. Relegados hoy en día al olvido, marca gran vigor. Han seguido los mismos medios que fueron practicados al principio de las civilizaciones conocidas. Posiblemente sea uno de los restos más arcaicos que se mantengan en Chile.

Más adelante se habla de que en otros lugares de Chile existen restos de otras ruedas de menor tamaño, utilizando ahora el término que se suele utilizar en la actualidad y aparecen una docena de fotos.

Afortunadamente no se han cumplido los presagios anunciados y las ruedas siguen existiendo en la actualidad aunque su estado siga siendo en muchos casos preocupante. No solamente no han desaparecido sino que en los últimos años se han reconstruido algunas probablemente ante la subida del precio de la energía, y si en algún momento se habla de que hubo



Figura 8

80 ruedas, en 1988 había 30 en funcionamiento y a ellas se añadieron hasta 10 más. A finales de los 90 se habla de 40 ruedas, lo que nos muestra claramente la pervivencia del sistema.

De acuerdo con los mejores y más completos estudios sobre este tipo de norias, tanto el de Julio Caro Baroja, como el de Ignacio González Tascón, estas ruedas de Larmahue responden más al tipo árabe que al romano. Por las representaciones y descripciones existentes, recogidas en el libro del primero de los autores, las ruedas romanas solían ser más robustas que las árabes y por otro lado en ellas los elementos fundamentales eran las llantas y los radiales, mientras que en las árabes los elementos dispuestos formando polígonos adquieren una importancia determinante en las mismas.

No obstante estas ruedas presentan algunos caracteres muy poco habituales o novedosos, en relación a las que conocemos, tanto las conservadas, como las presentes en las representaciones. Se trata de la ausencia absoluta en las mismas de piezas curvas, La llanta exterior, contenga en la misma o no los cangilones para la elevación del agua, está formada siempre por piezas curvas más robustas que el resto, mientras que en las ruedas de Larmahue, en general, todas las piezas son rectas, incluso las de la llanta exterior, que en este caso es poligonal. La mayor robustez de esta zona de la rueda se la da la acumulación de piezas rectas, todas ellas de pequeñas dimensiones, pero que se acumulan por el pequeño ángulo que forman entre si.

De una gran importancia es, sin duda, el que las ruedas estén formadas en su integridad por piezas rectas, lo que las proporciona una gran facilidad de construcción y de mantenimiento, pues apenas existen en las mismas ensambles complicados que exijan

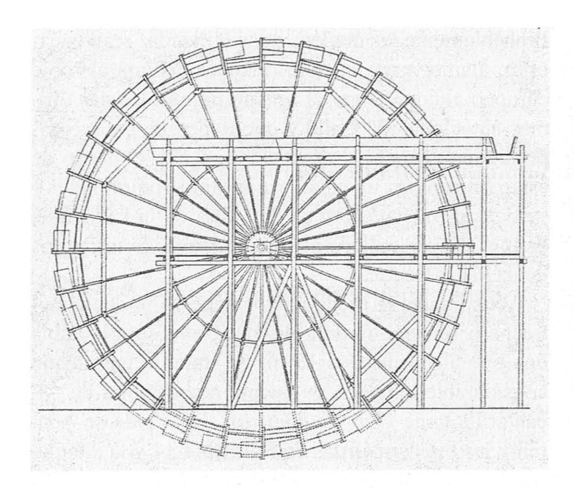


Figura 9

la participación de carpinteros especializados y que por ello tanto su construcción como su mantenimiento pueda llevarse a cabo con muy escasos conocimientos y medios.

Están siempre formadas por unos radios montados sobre uno eje metálico, que en no pocos casos se trata de un eje similar a los usados en las carretas, entre 16 y 32, y dos o tres cordones poligonales formados por piezas rectas, como arriba indicábamos. Las piezas de la corona exterior suelen prolongarse por fuera del polígono exterior de la rueda hasta llegar al extremo de las paletas y darles de esta forma mayor rigidez. Las paletas son planas y de forma rectangular.

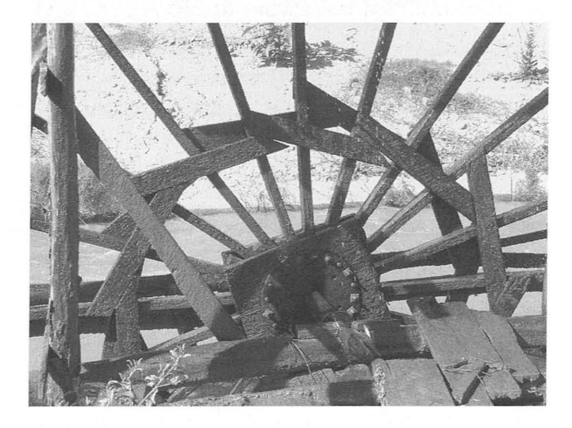


Figura 10

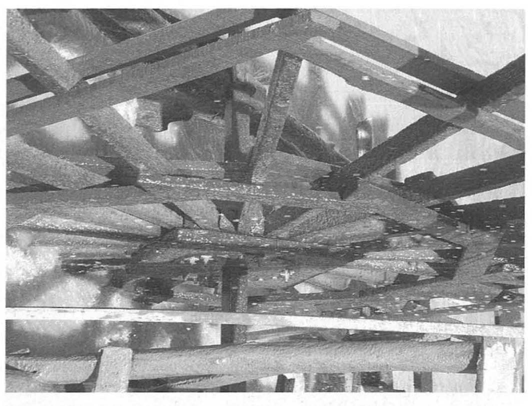


Figura 11

La disposición de los recipientes en las ruedas también es singular, no apareciendo entre los diferentes tipos descritos en el estudio de Caro Baroja, aunque si entre los citados en la obra de los portugueses Dias y Galhano, aunque sin dar detalles del mismo.

Los tipos descritos por Caro Baroja van desde las descritas ya por Vitrubio en que las vasijas forman parte de la propia llanta, hasta aquellas en que se trata de recipientes independientes, sean de cerámica o de otros materiales, con formas fundamentalmente cilíndricas y atados a estas mediante cuerdas o alambres.

En el caso que nos ocupa los recipientes tienen en general forma paralepipédica, son de chapa metálica o de madera y van sujetos a las propias paletas y no a la llanta exterior. Es bastante probable, aunque no tengamos constancia de que así sea, que la forma, dimensiones y disposición en la misma sean los originales, que inicialmente fueran de madera y solo posteriormente se hicieran mayoritariamente metálicos, como ocurre en la actualidad. Todavía existen algunas ruedas, aunque afortunadamente van siendo cada vez menos, en las que los recipientes son de plástico, utilizando envases de productos comerciales sujetos mediante clavos y alambres a las paletas. Se trata comparativamente de una disposición de gran fragilidad que exige un mantenimiento muy continuo, pero por el contrario su reparación es muy sencilla.

En el año 1998, 17 de ellas se declaran Monumento Nacional figura de protección que pone las obras



Figura 12

Probablemente las maderas más utilizadas sean eucalipto, álamo, raulí y roble (madera distinta al roble europeo aunque tenga el mismo nombre), estas últimas autóctonas de Chile y que tienen un buen comportamiento frente al agua. Junto a ello el hecho de estar situadas en un canal y por tanto con un nivel y velocidad muy uniformes, las libra de crecidas que eran el mayor peligro al que este tipo de artilugios debía hacer frente.

Actualmente la rueda mayor tiene 14 m de diámetro pero se tiene noticia de que cerca de ella había una que alcanzaba los 18 m. Se trata de un tamaño considerable teniendo en cuenta que la noria de Alcantarilla tiene 11 m de diámetro, la Grande de Abarán y las famosas Gruas de El Carpio 14 y la Albolafia de Córdoba, 15 m y solamente de las conocidas parece que la existente en Toledo alcanzaba los 25 m, aunque ello no sea tampoco seguro.

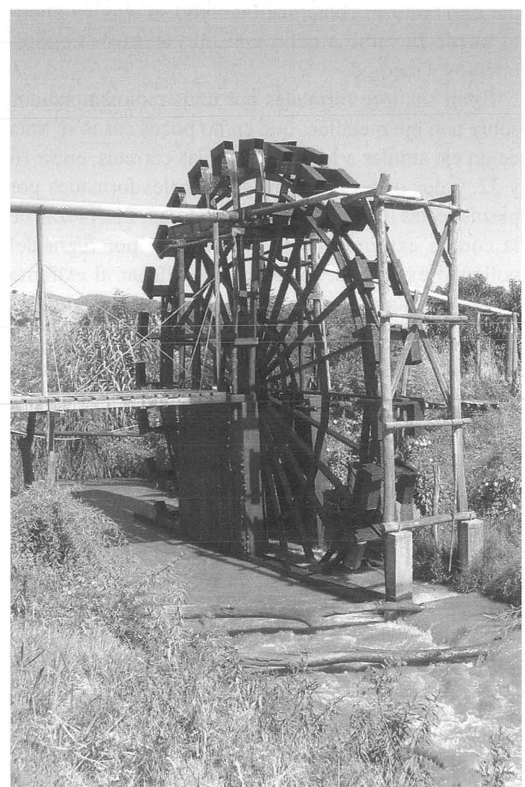


Figura 13

bajo el auspicio del Consejo de Monumentos Nacionales, organismo dependiente del Ministerio de Educación. El año 2003 la Azudas fueron inscritas en «la Lista del Patrimonio Mundial en peligro» del World Monuments Watch.

Llama la atención, como ya indicábamos, comparándolas con los restos de las norias existentes en España, la ligereza de las mismas, incluso las ruedas de mayor tamaño y que a pesar de ello se mantengan en pie y en funcionamiento. Ello es posible por seguir activas y por tanto que sigan conservando el mínimo mantenimiento necesario para que sigan cumpliendo su función de elevar el agua y desde luego por la buena calidad de las maderas.

En la península, prácticamente todas las norias existentes en la actualidad, son ya metálicas aunque antiguamente lo fueran de madera, mientras que éstas ruedas de Larmahue siguen siendo de madera.

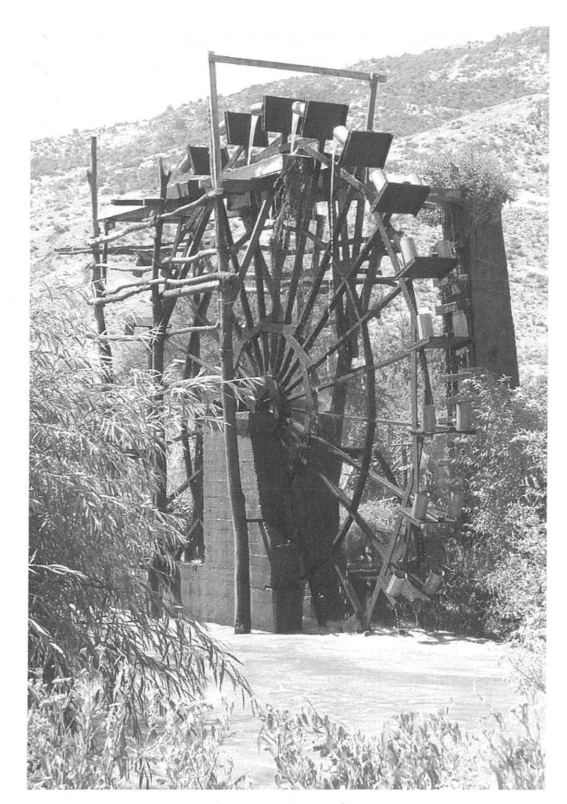


Figura 14

La velocidad de giro suele estar para las ruedas más habituales de 5 a 8 m de diámetro alrededor de 1 rpm que está cercana a los rangos recomendados en los estudios teóricos o modelos diseñados para las mismas, con el fin de que no existan grandes pérdidas por el choque de las paletas con el agua. La disposición de las mismas es radial cuando en los estudios experimentales se descubrió que un cierto ángulo mejora su efectividad.

Desde que fueron declaradas Monumento Nacional se han acondicionado hasta cuatro espacios o miradores, para poder observarlas y se realizan periódicamente reparaciones consistentes en colocar cangilones de zinc, que sustituyen en muchos casos a bidones de plástico que hace unos años existían en la mayor parte de las mismas. Estos cangilones pueden ser uno solo por paleta, dos en paralelo en cuyo caso el agua cae y es recogida a ambos lados de la rueda o dos en el mismo lado de la paleta en cuyo caso vierten ambos por el mismo lateral. La forma de los mismos suele ser cilíndrica o de paralelepípedo. Su tamaño varía también según el diámetro de la rueda llegando en algunos casos a 20320340 cm lo que supone una capacidad de 16 litros. La velocidad de giro también es variable siendo lo más frecuente de un minuto en cada giro, lo que puede dar un caudal, contando las pérdidas de 7/8 l/s esto es 600 m^3 al día. Están en funcionamiento de septiembre a marzo.

Existen trabajos para extender la declaración de Monumento Nacional a otras 12 ruedas, pero todavía algunas más están en estado ruinoso y seguramente desaparecerán en pocos años.

Afortunadamente se siguen instalando algunas ruedas nuevas, aunque en general de tamaño muy reducido y estructura muy elemental, incluso para regar pequeños jardines de casas de campo situadas junto al canal.



Figura 15

Desgraciadamente las «canoas» de las que habla el texto arriba citado y mucho más el resto del acueducto reciben menos cuidados y en su mayor parte las conducciones o canaletas de madera han sido sustituidas por tuberías de plástico. En general estas conducciones tienen dispositivos que permiten que el agua vuelva a caer al canal cuando no es precisa para regar los campos. En todos los casos existe junto a la canoa una escalera de mano, también en madera que permite manipular las gomas o canales y

dirigir el agua a donde se quiere o que vierta directamente al canal.

Con bastante frecuencia existen aguas arriba de las ruedas artilugios en el cauce de agua, en general también de madera que divide la corriente y permite eliminar o al menos reducir, la corriente en la zona de la rueda o por el contrario aumentar la velocidad del agua en esta zona y por lo tanto la cantidad de agua elevada.

LISTA DE REFERENCIAS

García García, Isabel M. e Ignaco González Tascón. 2004. *Guía Bibliográfica de la Historia de la Ingeniería Civil.* Madrid: Ediciones del Umbral.

Marco Vitrubio Polión. [1987]. *Los Diez libros de Arquitectura.* Madrid: Akal.

Juanelo Turriano (Pseudo) [1983]. *Los Veintiún Libros de los Ingenios y las Máquinas.* Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 2 vols.

Ignaco González Tascón. 1992. *Fábricas Hidráulicas Españolas.* Madrid: CEHOPU.

Julio Caro Baroja. 1983. *Norias, azudas, aceñas.* Madrid: Tecnología Popular Española.

VvAa. 1995. *El agua en la agricultura de Al-andalus.* Granada: Lunwerg.

Abderramán, Ch. y M. López, 1994. *El enigma del agua en Al-Andalus.* Madrid.

Rodríguez Molina, José. 1991. *Regadío bajo-medieval andaluz.* Granada.

Guarda, Gabriel y O.S.B. 1988. *Colchagua. Arquitectura tradicional.* Santiago: Ediciones de la Universidad Católica de Chile.

Guarda, Gabriel y O.S.B. *Historia urbana del Reino de Chile.* Santiago: Ed. Andrés Bello.

Márquez de la Plata, F. *Arqueología del Reino de Chile.* Santiago.

Miers, John. 1826. *Travels in Chile and La Plata.*

Llaradó, Andrés. 1878. *Tratado de Aguas y Riegos.* Madrid: Imp. de Moreno y Rojas.

Al-Hassan, A.Y. y D.R. Hill. 1986. *Islamic Technology. An Illustrated History.* Cambridge: Cambridge University Press.

Aymard, Marcel. 1864. *Irrigations du Midi de l'Espagne.* París.

Brunes, J. 1904. *L'irrigation, ses conditions géographinques, ses modes et son organisation dans la Peninsule Ibérique et dans l'Afrique du Nord.* París.

Torres Balbás, L. 1940. «Las norias fluviales en España». En *Al-Ándalus* 5.

Rodríguez, J. 1991. *Regadío Medieval Andaluz.* Jaén.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1991. *Historia de los regadíos en España.* Madrid: Al-Mudayna.

Carreras, Francisco. 1940. *La navegación por el río Ebro.* Barcelona: Ed. La hormiga de oro.

Dias, Jorge y Fernando Galhano. 1953. *Aparelhos de elevar a aguas a rega. Contribuçon para o estudo do regadio em Portugal.* Oporto.

Madoz, Pascual. 1847. *Diccionario geográfico español.* Madrid.

Real Academia de la Historia. 1802. *Diccionario geográfico-histórico español.* Madrid.

La relevante aportación de Heinz Hossdorf al desarrollo del pretensado 1954–1968

Pepa Cassinello

Hossdorf al igual que Maillart, Freyssinet, Nervi, y Torroja, perteneció a un reducido grupo de ingenieros y arquitectos que marcaron un hito en la Historia de la Construcción Civil y Arquitectónica, no limitándose a legar una prolifera e innovadora obra Moderna construida fundamentalmente en hormigón armado y pretensado, sino que también contribuyeron con sus investigaciones a marcar el rumbo de la Ciencia y de la Técnica desde diferentes perspectivas.

En 1954, el joven ingeniero Heinz Hossdorf aportó la novedosa idea de proyectar un puente de piedra pretensado. Su personalidad científica y autodidacta le llevo a montar su propio laboratorio de investigación en Basilea, manteniendo una estrecha relación con Eduardo Torroja.

En 1958 Hossdorf inventó el *postesado aéreo*, como resultado de colocar los cables de tesado fuera de la masa del hormigón, optimizando la sección resistente de la estructura laminar del Almacén del Consorcio Wagen. En 1964 Hossdorf utilizó por primera vez un *material plástico*, proyectando el Pabellón de Lausanne con una estructura laminar postesa ejecutada con poliéster reforzado con fibra de vidrio. En 1968, Hossdorf y Guttman ganan el concurso de la Ópera de Basilea con una estructura laminar pretensada de grandes luces.

La idea de tesar nuevas formas y materiales unida a la aparición del ordenador llevó a Hossdorf a desarrollar paralelamente nuevos métodos de ensayo sobre modelos reducidos *ensayos Híbridos*. Las aportaciones técnicas y científicas de Hossdorf marcaron la Historia de la Construcción del pretensado, constituyéndose en obligado eslabón para el entendimiento del desarrollo alcanzado.

Hossdorf y el Instituto Eduardo Torroja

Al igual que las ideas del joven Euler atrajeron la atención de su maestro Bernoulli en la universidad de Basilea en 1.724, Hossdorf motivó el interés de Torroja a través de la primera de sus ideas publicada en el año 1954 en una revista suiza. Se trataba de la propuesta de un puente de piedra pretensado de 73,50 metros de luz entre apoyos, una ingeniosa solución que Hossdorf había desarrollado a la vista de los resultados del concurso que se convocó en Suiza para construir un nuevo puente cercano al histórico de San Gothardo (fig. 1). Torroja escribió una carta a

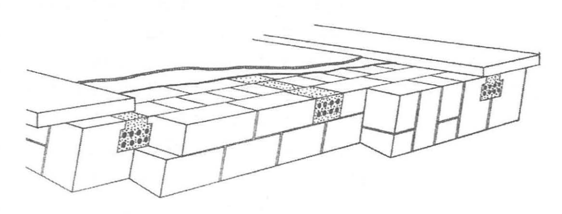


Figura 1
Idea para un puente pretensado de piedra natural (Hossdorf 2003)

Hossdorf felicitándole y Hossdorf respondió presentándose en Madrid para conocer a uno de sus más admirados ídolos, quien posteriormente publico en la revista Informes de la Construcción un artículo sobre la idea del puente pretensado de piedra de Hossdorf. (Torroja 1955).Desde aquel día se inició una estrecha relación de intercambio técnico y científico, pasando Hossdorf a formar parte de ese amplio grupo de profesionales de distintas disciplinas y países que Eduardo Torroja supo atraer y aglutinar para intercambiar ideas, experiencias y sueños, liderando el camino científico de la técnica de la Ingeniería Civil y la de la Arquitectura. (Cassinello 1996)

Para entender las relevantes aportaciones de Hossodrf, es necesario recordar que en las década de los años 50 los indudables protagonistas de la escena técnico científica, eran fundamentalmente; el hormigón pretensado, la prefabricación y las estructuras laminares. Tres aspectos distintos —material, técnica de producción y tipo estructural— que respondían al fruto de las investigaciones realizadas desde 1928, fecha en la cual no solo apareció la primera patente registrada de hormigón pretensado por Freyssinet, sino en la que también se celebró el primer Congreso CIAM en el que Le Corbusier pronunció su célebre frase: *«aquí y ahora ha nacido una nueva Arquitectura»*. Se había decidido despojar a la Arquitectura de elementos superfluos, y dar muerte a la artesanía de sus sistemas de construcción, haciéndola partícipe de la revolución científica que estaba cambiando la industria desde sus propios sistemas de producción. En la década de los años cincuenta —cuando Hossdorf se incorpora al mundo profesional— se estaba recogiendo el fruto de las investigaciones que se habían realizado desde aquel momento, así como de la experiencia adquirida a través de la prolifera obra construida desde entonces. Eduardo Torroja era sin duda uno de los más prestigiosos líderes del mundo técnico y científico, no solo a través de su propia obra de ingeniería y arquitectura sino también a través del desarrollo de nuevos sistemas de cálculo y comprobación como las innovaciones en el método de ensayos sobre modelos reducidos y de la importante labor de investigación, difusión de conocimientos y apoyo técnico que dirigía desde el Instituto Técnico de la Construcción que hoy lleva su nombre (Cassinello 2000). Basta recordar que hasta el año 1952 no se creó la Federación Internacional del Pretensado FIP en Cambridge para controlar, normar y difundir adecuadamente los avances de este material. Sin embargo, tres años antes de la creación de la FIP Eduardo Torroja, que había utilizado en sus obras diferentes sistemas de pretensado incluso antes de la aparición de la primera patente de Freyssinet, ya había creado en el año 1949 la Asociación Española de Pretensado A.E.H.P adscrita al Instituto Técnico de la Construcción. Diez años después, en 1959 es nuevamente Eduardo Torroja quien tras haber construido innovadoras estructuras laminares, crea la Asociación Internacional de Estructuras Laminares IASS en Madrid adscrita también al Instituto.

Aportaciones Técnico-Científicas

Heinz Hossdorf montó su propio laboratorio de investigación en Basilea con la intención de involucrase directamente en los avances que la Técnica y la Ciencia tenían pendientes en aquellos momentos en el campo de la construcción Civil y Arquitectónica, disciplinas que siempre vio unidas bajo un mismo tronco común al igual que Eduardo Torroja.

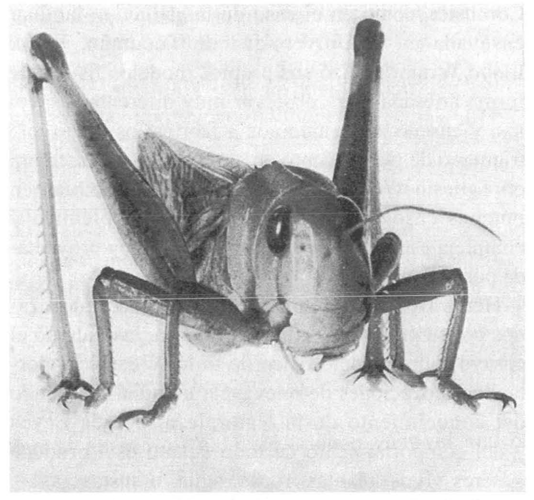
Sin duda, el interés por el conocimiento de las Leyes de la Naturaleza ha sido un denominador común a todos los genios de la Historia de la Ciencia y de la Técnica, y siempre han recurrido a la experimentación directa a través de modelos físicos para conocer el comportamiento de cualquier cuerpo natural —animal, planta, sustancia— o cualquier artefacto nuevo construido por el hombre —barco, catedral, rascacielos, puente o nave espacial—. Sólo a través de la observación de las reacciones físicas que producen en un modelo o en el propio prototipo, las acciones del el viento, las turbulencias de las aguas o de las fuerzas dinámicas de los terremotos, . . . el hombre ha sido capaz de ir conquistando el mundo que le rodea para poder evolucionar su forma de vida. No sabemos quien o quienes fueron los primeros que empezaron a utilizar modelos físicos de menor tamaño que el prototipo para conocer la influencia de la Naturaleza en ellos, pero es un hecho que el hombre evolucionó observando la Naturaleza antes de llegar ha poder entenderla. Por ello, la Arquitectura nació en forma de cubierta inclinada imitando a las montañas para que el agua deslizara movida por su propio peso al ser atraída por la entonces desconocida fuerza de la gravedad. Los maestros medievales modificaron el esqueleto

pétreo de sus catedrales incluyendo en sus entrañas efectivos sistemas antisismo en aquellas zonas donde fueron testigos oculares de fuertes temblores de tierra (Cassinello 2005).

Antes de que el ensayo sobre modelo físico fuera reconocido como método científico, Leonardo Da Vinci los utilizó para conocer el comportamiento de estructuras geométricamente semejantes. Telford y Fairbairn utilizaron modelos reducidos para comprobar el comportamiento estructural de muy diferentes estructuras de puentes. En esa larga y encadena historia sobre la utilización de modelos, sabemos que la simulación mediante modelos físicos en túneles de viento hizo posible el avance del rascacielos, como los tanques de agua la de los barcos, . . . Eduardo Torroja, considerado el padre del nacimiento del *ensayo científico* sobre modelos físicos en el campo de la ingeniería, desarrolló nuevas técnicas de modelización en el Instituto Técnico de la Construcción y en el Laboratorio Central, aplicándolas no solo a la realización de ensayos de proyectos de muy diferentes autores, sino también para desarrollar sus propias e innovadoras ideas, que hubiera sido imposible realizar mediante el simple apoyo de cálculos numéricos complejos, engorrosos y en muchos casos imposibles pese a las relevantes aportaciones de Dischinger o Flügge. El ensayo sobre modelo físico le sirvió a Eduardo Torroja para comprobar en el año 1935 el comportamiento del sistema de zunchado de la cubierta laminar del Mercado de Algeciras mediante un novedoso sistema de pretensado de su anillo de borde, así como de todos los nuevos tipos de estructuras laminares que su intuición le llevó a imaginar variando formas geométricas, posiciones en el espacio, sistemas de apoyo, y sistemas de armado y pretensado, haciendo posible la construcción de láminas tan diferentes como la del Frontón Recoletos, la del Hipódromo de Madrid o tantas otras. Robert Maillart utilizó el ensayo sobre modelo físico para comprobar el comportamiento estructural de sus novedosos puentes, Piere Luigi Nervi los utilizó en sus investigaciones experimentales, tanto de sus propios proyectos, como en el Hangar de Orvieto o en el rascacielos Pirelli, como para conocer el comportamiento de muy diferentes y novedosas estructuras en el ISMES (Instituto Experimental de Modelos y Estructuras) perteneciente al Instituto de la Ciencia de las Construcciones del Politécnico de Milán, donde trabajo desde el año 1935. En algunas ocasiones recurrió a ellos Le Corbusier, como en el caso de la estructura laminar ensayada en la Universidad de Tucumán, Frank Lloyd Wright realizó sus propios modelos físicos de forma artesanal para observar muy diferentes aspectos, y enseñó a sus alumnos a fabricarlos como instrumento de pensamiento en su taller de Arquitectura en Taliesin West, Ove Arup los utilizó también en muchos casos como el de la famosa, polémica y compleja estructura de la Opera de Sydney proyectada por Utzon.

Heinz Hossdorf, conociendo los avances alcanzados por su gran ídolo Eduardo Torroja, evolucionó el ensayo sobre modelo físico de forma científica aportando innovaciones de relevancia mundial. Partiendo del conocimiento de la Naturaleza, de sus Leyes y del comportamiento de todo cuanto esta produce —seres vivos, plantas, rocas, agua, o sustancias—, estudio las leyes de semejanza por las cuales se rige, aplicándolas al ensayo sobre modelos físicos reducidos. Tras sus investigaciones científicas, Hossdorf niega la semejanza geométrica al igual que la niega la propia Naturaleza no construyendo seres geométricamente semejantes. Su célebre comparación entre el elefante y el saltamontes deja patente cuan imposible sería que existiera un saltamontes del tamaño de un elefante sin que este cambiara para ello de forma o de proporciones entre sus partes (fig. 2). En efecto: *Cuanto más pequeña es una forma sustentada, tanto más fina relativamente puede ser la estructura que sustenta su peso*. Pero Hossdorf no se limitó a asumir las sabias observaciones de Galileo, conocidas como la ley del cuadrado-cubo, por la cual en el siglo XIX enunció que el peso de un cuerpo crece con el cubo de sus dimensiones mientras que las secciones que soportan las cargas crecen con su cuadrado. Porque la Naturaleza no aísla un solo aspecto físico para construir un nuevo ser vivo, sino que en este nuevo diseño intervienen todas y cada una de sus cualidades y características. Por eso, el tamaño y la forma de las alas de un colibrí son diferentes a las del águila, también tienen diferentes tamaños sus corazones siendo diferentes sus ritmos cardiacos, diferentes las secuencias dinámicas de sus movimiento, diferentes las necesidades de generar articulaciones y entramados sanguíneos, diferentes las voces que salen de sus tesadas gargantas.

Hossdorf explica, a través del análisis de una simple gota de agua, el significado de la escala y lo absurdo que resulta el empeño de construir modelos



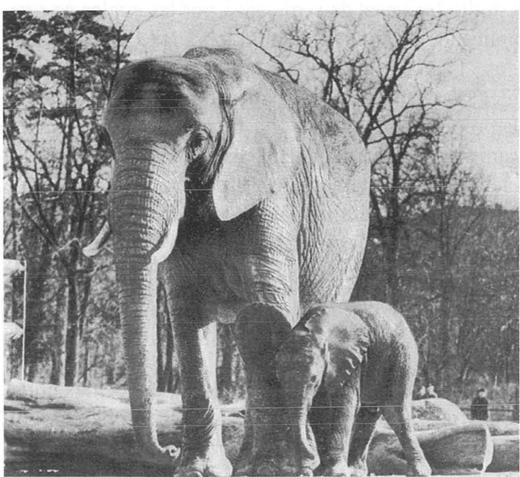


Figura 2
El elefante y el saltamontes (Hossdorf 1971)

geométricamente semejantes, ausentes en la Naturaleza. La forma geométrica de una gota de cualquier líquido queda determinada por sus dimensiones, densidad, tensión superficial y aceleración de la gravedad. Partiendo de la matriz de dimensiones definida por estas cuatro características, deduce que las dimensiones de dos gotas del mismo líquido que sean geométricamente semejantes producen un comportamiento inversamente proporcional según la raíz cuadrada de la aceleración. Por esta razón, explica Hossdorf que una gota de agua afín a cualquier gota depositada en el planeta Tierra, depositada sobre la Luna tendría un tamaño 2,5 veces menor, porque las proporciones geométricas óptimas en la Naturaleza aumentan con la raíz cuadrada del valor de la gravedad. Por la misma razón, un puente construido en la Tierra tendría que ser 2,5 veces mayor que su semejante construido en la Luna con el mismo material. Hossdorf añade en sus explicaciones como la importante influencia de la gravedad afectaría al tamaño del hombre si realmente existieran seres análogos a él en un planeta como Júpiter, donde tan solo tendrían 80 centímetros de estatura, se moverían y pensarían con mayor rapidez. (Hossdorf 1971)

En base a sus conocimientos científicos, Hossdorf realizó sus modelos teniendo especial cuidado en que la semejanza entre este y su prototipo —la realidad— no estuviera solo referida a la relación entre las mediciones geométricas entre ambos sino también con todas sus magnitudes físicas como tiempo, fuerza, aceleración, frecuencia, temperatura, . . . Con la Naturaleza siempre presente en su pensamiento, realizó en su laboratorio muy diferentes e innumerables ensayos sobre modelos, buscando siempre nuevos métodos para poder establecer una adecuada semejanza entre el comportamiento fisico-mecánico del modelo reducido con el prototipo. Desarrolló una nueva técnica de simulación de cargas exteriores para reproducir el efecto de cualquier grupo de cables de pretensado sin llegar a construirlos en el modelo, sistema que fue posteriormente utilizado facilitando la comprobación del comportamiento estructural de puentes. Desarrolló diferentes y novedosos sistemas de puesta en carga de modelos, y utilizó nuevos materiales para la fabricación de sus modelos físicos en busca de ese necesario cumplimiento de semejanzas mecánicas. En el año 1967 fue Hossdorf el primero que aprovecho en su laboratorio la aparición del ordenador para automatizar la totalidad del proceso del ensayo sobre modelos, pero sin duda y pese a la importancia de este hecho, la más relevante aportación científica de Hossdorf en este campo fue la creación de los *Ensayos Híbridos*, en los que integró en el ordenador dos tipos de lectura una analógica y otra digital, para combinar las aportaciones de ambas. De esta forma, durante el proceso del ensayo contaba a la vez con medidas analógicas que son más adecuadas para la solución de ecuaciones diferenciales lineales y no lineales, y con medidas digitales

más adecuadas para adaptarse a problemas con ecuaciones algebraicas. Con este tipo de ensayos, Hossdorf abrió un nuevo camino científico para el análisis del comportamiento estructural de formas, contribuyendo a que el anticuado y en parte desprestigiado ensayo sobre modelo se convirtiera en una nueva y eficaz técnica para comprender el comportamiento estructural de estructuras espaciales. (Cassinello 2002)

En 1972 publicó en Berlín un libro titulado —Modellstatik—, traducido al español y publicado por el Instituto Eduardo Torroja, debido a la iniciativa de Fernando Cassinello (Hossdorf 1971). En esta publicación, Hossodrf recoge algunas de las observaciones, investigaciones y avances que realizo en su propio laboratorio sobre los ensayos sobre modelos reducidos. Un importante legado impreso en el que quedó recogido su genial e intuitivo modelo de pensamiento.

Además de revolucionar la propia técnica científica del ensayo sobre modelo, Hossdrof utilizó el ensayo sobre modelo como Maillart, Torroja, y Nervi para poder construir libremente sus propias ideas generando nuevos tipos estructurales como legado del Patrimonio de la Arquitectura y la Ingeniería Civil de la Modernidad.

Durante las últimas décadas, siguiendo siempre los avances producidos en otros campos científicos, Hossdorf contribuyó al avance de las posibilidades que el ordenador podía prestar, interviniendo de forma directa en el desarrollo del dibujo para generar representaciones —modelos— como es el caso del CAD a través de diseño vectorial, interviniendo también como técnico asesor de algunas de las empresas de software más importantes del mundo, como Hewlett Packard o Prime, así como en la aplicación del novedoso método de comprobación y cálculo denominado Método de Elementos Finitos. En algunos de sus últimos ensayos Hossdorf comprobó la misma estructura laminar mediante ensayo sobre modelo físico y los resultados obtenidos mediante la aplicación del MEF.

Arquitectura pretensada. Aportaciones

Un de las características de la obra proyecta y construida por Hossdorf es la existencia de pre-tensión o post-tensión en sus elementos estructurales. Sintió una especial atracción por optimizar el funcionamiento mecánico de sus formas resistentes, dotándolas de *tensión* al igual que la hace la propia Naturaleza con sus seres vivos. Aplicó muy diferentes técnicas de tesando y postesando a múltiples formas geométricas construidas con materiales tan diferentes como la piedra, la madera, el plástico, o el hormigón.

Postesado aéreo. Almacén central del Consorcio Wagen

Pese al gran desarrollo alcanzado en la década de los años 50 por el hormigón pretensado, existía todavía un aspecto importante que hasta entonces nadie ha sabido resolver. El hecho de que el volumen físico que los paquetes de cables de pretensado o postesado ocupan dentro de la masa del hormigón, implican la necesidad física de contar con una sección de hormigón suficiente para albergarlos en el interior de su masa ya sea fresca o endurecida.

En el año 1958, Hossdorf inventa el *postesado aéreo*, sacando fuera de la masa del hormigón la armadura postesa, optimizando así la sección resistente de hormigón y posibilitando un nuevo mundo de alternativas para construir nuevas formas más esbeltas y racionales, y abriendo también nuevas posibilidades para la industria en ese largo camino hacia la optimización de la prefabricación y tecnificación de la producción en serie. Utilizo esta nueva técnica por primera vez en el Shed laminar que proyectó y construyó para el Almacén Central del Consorcio Wagen en Suiza. Pero Hossdorf, tal y como me contaba, no buscó nunca *inventar*, sino solucionar problemas concretos para ser capaz de construir sus propias ideas sin las limitaciones existentes.

El almacén Wagen, con una superficie de 13.500 m^2, debía construirse en un reducido plazo de tiempo, razón por la cual Hossdorf recurrió a la utilización de piezas prefabricadas de hormigón armado, proyectando una ingeniosa técnica de colaboración estructural entre ellas para cubrir la totalidad del espacio con la superficie laminar resultante (Rühle H. 1969). Cada una de estas piezas de 8,40 × 1,40 metros de desarrollo en planta y 4,5 centímetros de espesor, tenían una directriz curva que permitía unir 18 unidades mediante *postesado aéreo* formando módulos inde-



Figura 3
Postesado aéreo. Estructura laminar Almacén Consorcio Wagen. (Hossdorf 2003)

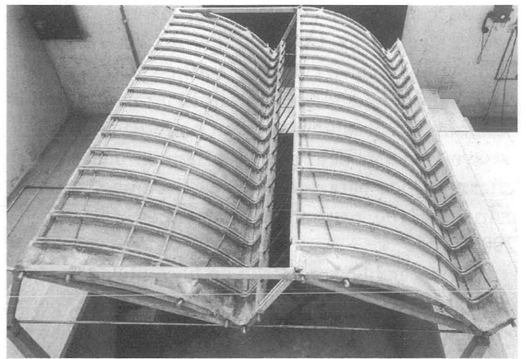


Figura 4
Ensayo sobre modelo. Estructura Laminar —postesado aéreo. (Hossdorf 2003)

pendientes de 8,40 metros de ancho y 25,20 metros de luz entre apoyos. (fig. 3)

Los cables de postesado optimizan su con su específico trazado curvo la absorción de esfuerzos del conjunto de las piezas que se unen, apoyándose en el trasdós de la estructura laminar de cubierta resultante. Gracias a este ingenioso postesado aéreo, la lámina cuenta con un canto resistente de tan solo 4,5 centímetros de hormigón armado, con un pequeño incremento en su extradós de 15 centímetros a lo largo de todo su borde. Este incremento de sección cumple la múltiple función de: albergar el anclaje de los cables de postesado fuera de la masa del hormigón de la pieza prefabicada, absorber flexiones, facilitar el transporte y puesta en obra y servir de apoyo al recubrimiento final de la cubierta creando una cámara de aire ventilada sobre los cables una vez protegidos.

Hossdorf realizó un ensayo sobre modelo reducido para determinar el complejo proceso de postesado de los seis puntos de anclaje de los cables de cada nervio modular, desarrollando para ello un nuevo sistema de puesta en carga. (fig. 4) Además, en este caso, realizo diversos ensayos para determinar cual era la mejor solución que debía adoptar en las juntas entre las piezas prefabricadas, ya que la eficacia del comportamiento estructural previsto dependía en gran parte de la adecuada transmisión de esfuerzos en las juntas. Tras los resultados obtenidos en su investigación, Hossdorf decidió no realizar armaduras en espera para el posterior relleno de las juntas, simplificando y abaratando el coste de fabricación de las piezas así como su puesta en obra. Ejecutó las juntas prácticamente en seco, desechando la posibilidad de rellenarlas a base de aglomerantes sintéticos, como resinas artificiales o poliésteres mezclados con arena, dada su alta sensibilidad a la humedad en caso de heladas o al calentamiento excesivo en caso de incendio.

Estructura laminar con tesado central

En 1961 Hossdorf construyó una Fábrica de Cemento de Liesberg con una curiosa estructura laminar cuya innovación fue su especial sistema de tesado ubicado en la zona central de la lámina (fig. 5). Los cables se ubicaban de forma radial evitando así tener que incrementar la sección de los bordes de la lámina para albergar los anclajes. La forma geométrica de la estructura laminar ondulada que forma la cubierta de la fábrica, se genera mediante la secuencia continua de siete láminas de cañón rebajado de 7 metros de luz con radio de curvatura exterior de 5,60 metros y una longitud total de cada una de 27 metros. La luz entre apoyos es de 20 metros existiendo en los extremos vuelos de 3,50 metros. (Cassinello F. 1966)

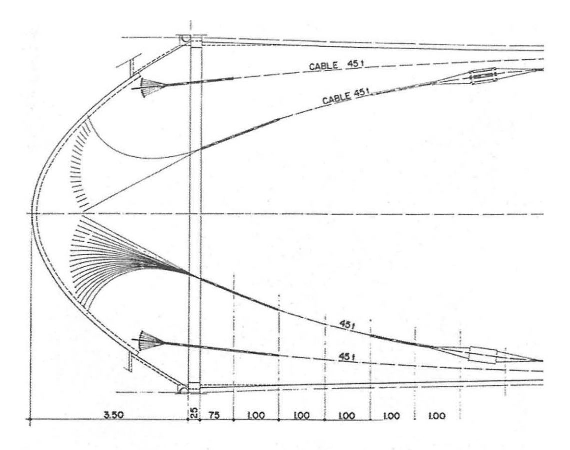


Figura 5
Estructura Laminar. Fábrica de Cemento de Liesberg. (Cassinello 1966)

Madera postesada. Pabellón en Basilea

La pequeña cubierta del Pabellón de Basilea es uno de sus proyectos de madera postesda. Se trata de una cubierta en forma de artesa que cubre una planta cuadrada de aproximadamente 13 metros de lado, que se apoya en sus cuatro vértices dejando pasar la luz en todo el resto del perímetro. (Cassinello F. 1973)

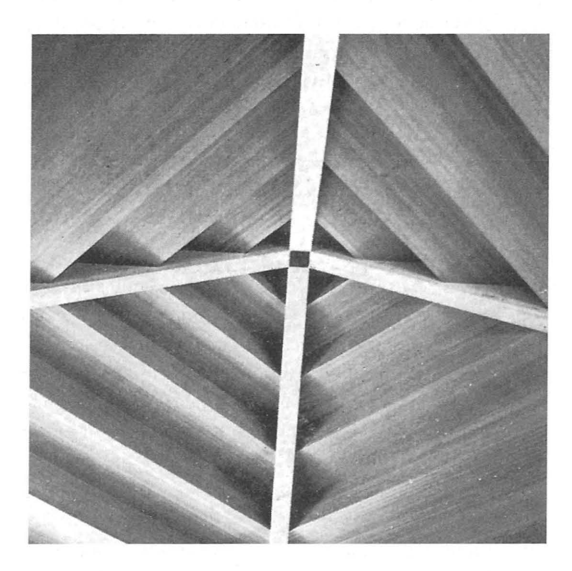


Figura 6
Postesado de artesa de madera. Hossdorf (Cassinello F. 1973)

Hossdorf, con una genial sensibilidad estética, resuelve la imagen formal de la geométrica piramidal de las tradicionales cubiertas de pabellón, sustituyendo el conjunto de elementos ensamblados que garantizan el reparto espacial de esfuerzos, por un sencillo armazón de tablas unidas a los pares a modo de escalera triangular generando una superficie plegada cuyo arriostramiento perimetral se realiza sustituyendo zunchos, cuadrales y aguilones por finos alambres tensados de pocos milímetros de sección ubicados en el extradós de la superficie plegada de cada paño de la cubierta. De esta forma, los empujes de los pares son contrarrestados por el postesado de doce alambres, tres en cada faldón, situados a 0,60, 1,20 y 1,80 metros del apoyo, eliminándose así la necesidad de utilizar durmientes de 13 metros de luz, cuyo canto en madera tradicional, hubiera impedido la captación de la luz natural desde el propio borde de la cubierta.

Plástico tesado. Pabellón de la Exposición Internacional Laussane

En el año 1964 una nueva obra de Hossdorf ocupa la portada de la revista de la Asociación Internacional de Estructuras Laminares IASS (Bulletin IASS 1964), fundada por Eduardo Torroja en 1959. Es la primera vez que un material plástico es utilizado como material estructural para construir una cubierta laminar. Muchos años después, el propio Hossodrf elige también esta obra para la portada de su último libro, en el que recoge gran parte de su obra. (Hossdorf 2003)

Hossdorf proyecta el Pabellón de Intercambio Comercial de la Exposición Nacional de Suiza en Lausane utilizando una estructura laminar pretensada, ejecutada con poliéster reforzado con fibra de vidrio. El pabellón estaba formado por 24 módulos espaciales prefabricados en forma de hongo, que cubrían una superficie de 8.124 m^2 de una planta rectangular de 111 × 74 metros, ocupando cada módulo una planta cuadrada de 18,50 metros de lado. La innovación desde el punto de vista estructural fue el original mecanismo ideado por Hossdorf para someter a tracción una delgada lámina de poliéster de 3 milímetros de espesor reforzada con un 30% de fibra de vidrio,

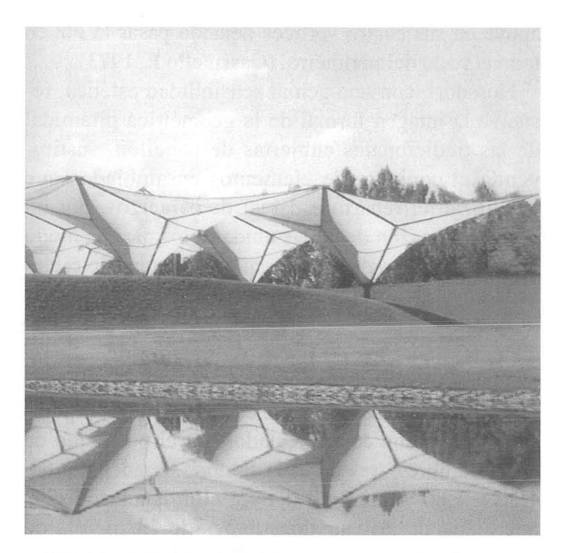


Figura 7
Pabellón de Intercambio Comercial de la Exposición Nacional de Suiza en Laussane. Heinz Hossdorf 1964 (Cassinello 2006)

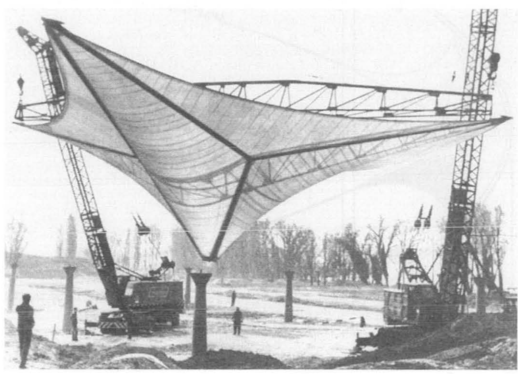


Figura 8
Colocación de módulo laminar de poliéster sobre pilar. Hossdrof 1964 (Cassinello 2006)

abriendo un nuevo campo de utilización estructural para los materiales plásticos. (fig. 7)

Cada módulo estaba formado por un pilar de 1,60 metros de altura realizado en chapa de acero, en cuyo interior se alojaba la bajante de aguas pluviales, y sobre el cual apoyaba una estructura laminar de poliéster cuyas aristas estaban formadas por perfiles de acero, a modo de un paraguas invertido, unidos por un dispositivo por un dispositivo central que permitía tensar los cables centrales traccionándose así la totalidad de la superficie plástica de la cubierta del Pabellón. (fig. 8)

Dado que no existía ninguna experiencia anterior sobre la utilización de un material plástico tesado, Hossdorf realizó en su propio laboratorio, como era su costumbre, un ensayo sobre modelo reducido para comprobar el comportamiento estructural del módulo espacial proyectado. Pero previamente analizó diferentes mezclas posibles para determinar la más apropiada dosificación del poliéster con el refuerzo de fibra de vidrio, en busca de la más adecuada resistencia y deformabilidad en base a las solicitaciones previstas en la forma resistente proyectada. Al igual que Nervi optimizó con el ferrocemento las propiedades del cemento y del acero, obteniendo un material de alta resistencia a compresión con la elasticidad del acero a tracción, Hossdorf partiendo de un material plástico muy deformable y de rápida fluencia bajo pequeñas cargas permanentes, lo mezcla con fibra de vidrio al 30% y pretensa su superficie en todas las direcciones, aumentando así la resistencia de forma isotrópica, disminuyendo su deformabilidad pero conservando la moldeabilidad necesaria para poder fabricar elementos estructurales de muy diferentes formas a las que se suma el indudable atractivo de su transparencia.

Hossdorf proyecta el módulo-hongo o campanilla como una estructura laminar de doble curvatura, utilizando así una forma geométrica de mayor rigidez dada la gran ligereza y esbeltez de la pieza. Cada módulo estaba formado por dos tipos de elementos A y B prefabricados en poliéster reforzado con fibra de vidrio. Los elementos A se sitúan en los cuatro bordes del hongo, cerrando las superficies a modo de arcos rígidos triarticulados en el espacio, mientras que los elementos tipo B el interior cóncavo de la superficie laminar configurándose a modo de plemento. Una vez construidos ambos tipos de elementos, se montaron en taller entre los perfiles de acero que formaban un cuerpo piramidal en el espacio cuyos vértices situados en el eje vertical del módulo, se unen mediante cables de acero con un dispositivo de tensión mediante el cual se garantiza la tracción de toda la superficie plástica de poliéster reforzado con fibra

de vidrio que define la estructura laminar, al no permitirse el desplazamiento de los vértices exteriores pese al descenso del vértice central del dispositivo.

Mediante el ensayo sobre modelo que realizó en su laboratorio (fig. 9), pudo comprobar que la distribución de esfuerzos coincidía con sus cálculos numéricos previos e intuición resistente, quedando demostrada la monolítica forma de trabajo entre los perfiles comprimidos de acero que formaban las aristas y la superficie laminar traccionada frente a las flexiones resultantes. El resultado del test aerodinámico corroboró a su vez el viento como la carga más peligrosa de este tipo de estructuras tan ligeras, quedando manifiesta la necesidad de arriostrar los extremos de la cubierta total del Pabellón formada por los 24 módulos laminares. Al existir la posibilidad de generarse turbulencias en sus bordes debidas a la distribución no uniforme de vientos prevista, Hossodrf colocó cables de acero anclados al terreno en los bordes del conjunto.

El Pabellón de la séptima Exposición Suiza de Intercambio Comercial proyectado y construido por Heinz Hossdorf, resulto ser un innovador y gigantesco campo de campanillas traslúcidas con el que se introdujo el plástico tesado como material estructural en la Arquitectura, generando la posibilidad de construir ligeras láminas permeables a la luz. Fue la primera *Estructura Laminar Transparente* que construyó la Arquitectura de la Modernidad y que sin duda presagió el nacimiento de las actuales estructuras ligeras de vidrio.

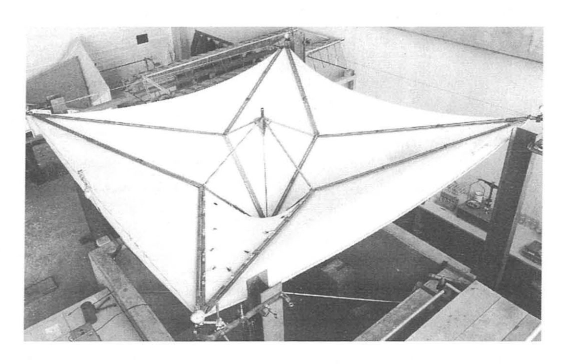


Figura 9
Ensayo sobre modelo. Módulo de Poliéster reforzado con fibra de vidrio Heinz Hossdorf 1964 (Hossdorf 2003)

Lista de referencias

Cassinello, Fernando. 1966. «Fábrica de Cemento en Liesberg y Laboratorio Fábrica Secheron Liesberg». *Informes de la Construcción*, nº 183.

Cassinello, Fernando. 1973. *Construcción: Carpintería.* Madrid: Editorial Rueda.

Cassinello, Fernando. 1974. *Construcción Hormigonería.* Madrid: Editorial Rueda.

Cassinello, Pepa. 1996. Heinz Hossdorf. *Arquitectura COAM*, nº 305: 108–113.

Cassinello, Pepa. 2000. «Razón científica de la Modernidad Española en la década de los años 50». *Actas del Primer Congreso Internacional: Los años 50: La Arquitectura española y su compromiso con la Historia- Pamplona marzo 2.000.* Pamplona: E. T. S. de Arquitectura de la Universidad de Navarra, 21–38.

Cassinello, Pepa. 2002. «Ciencia y creación en la obra de Heinz Hossdorf». *Arquitectura COAM*, nº 327: 34–49.

Cassinello, Pepa. 2005. «Influencia de los terremotos históricos en la construcción de las Catedrales Góticas españolas». *Annali di Architettura* nº 17: 9–20.

Cassinello, Pepa 2006. «En memoria de Heinz Hossdorf». *Informes de la Construcción* nº 502: 63–81.

Hossdorf, Heinz. 1964. «Desing of a Polyester pavilion reinforced with glass fiber for the 64 Swiss Exhibition». *Bulletin of the International Association for Shell Structures. IASS*, nº 19: 17–32.

Hossdorf, Heinz. 1971. *Modellstatik.* Wiesbaden y Berlin: Bauverlag. (trad. al esp. por Carlos Benito Hernández. *Modelos Reducidos. Método de cálculo.* Madrid: Instituto Eduardo Torroja 1972.)

Hossdorf, Heinz. 2003. *Heinz Hossdrof. Das Erlebnis Ingenieur zu sein.* Berlin: Birkhäuser Verlag.

Rühle, Hermann. 1969. *Raumliche Drachagwerke Konstruktion und Ausfuhrung.* Berlin: VEB- Verlang fur Bauwesen.

Torroja, Eduardo. 1955. «Puente pretensado de piedra natural». *Informes de la Construcción.* Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. Madrid.

La presa de *Kaffara* en el valle del Nilo. Aproximación al origen de la ingeniería hidráulica

Juan Carlos Castillo
Josep Cervelló
Marc Orriols
Victoria Revuelta

La presa de Kaffara (*Sadd-el-Kaffara*) constituye un tradicional foco de interés para arqueólogos, investigadores de las obras públicas históricas, y en concreto, para los estudiosos de las presas antiguas. El hecho de constituir uno de los primeros ejemplos conocidos de obra humana construida en piedra, y de ser probablemente la presa más antigua de la que existen evidencias, la transforman en la primera referencia para cualquier estudio sobre la Historia de las Obras Hidráulicas.

La presa se encuentra sobre el Wadi El-Garawi, unos 6 Km al sur de la ciudad de Helwan (que se encuentra a 25 Km al sur de la capital egipcia, El Cairo), y a unos 9 Km hacia el Este desde un camino

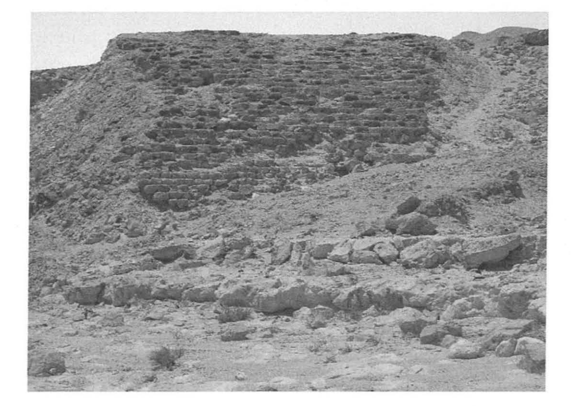


Figura 1
Vista general del paramento de aguas arriba de la presa desde el cauce del *wadi Garawi*

que parte de la carretera que se dirige hacia el sur. Debe decirse que, a pesar de que la zona se encuentra en realidad bastante bien comunicada, mediante una carretera que circunvala Helwan (de la que parte el camino de acceso a la presa), además de una nueva autopista justamente al sur del wadi que comunica con las ciudades de la costa del Mar Rojo, lo cierto es que el acceso a la presa se realiza a través de un camino sin pavimentar y sin señalización alguna que va atravesando las diversas explotaciones de caliza y yeso que se desarrollan en esta zona en relación con la cercana fábrica estatal de cementos.

Este camino, conocido por algunos habitantes del lugar, sortea como decimos las diferentes canteras y cintas transportadoras de material hasta acceder al propio cauce del wadi, que se encuentra casi permanentemente seco. Este cauce describe un valle más o menos amplio, excavado en las calizas de la zona, que se va estrechando según se va remontando hacia aguas arriba, siguiendo el camino paralelo al lecho del río, hasta llegar a la propia presa, punto en el cuál el camino asciende hasta el nivel superior de calizas a través del propio cuerpo de la presa en su estribo izquierdo.

Es significativo este punto, ya que la ubicación elegida para la cerrada de la presa es realmente acertada, puesto que en primer lugar, constituye un cierre natural claro que permite la construcción de un dique artificial para la creación de un depósito de gran importancia (al menos 500.000 m^3 según las estimaciones de G. Garbretch) mediante una obra relativamen-



Figura 2
Vista general del cauce del *wadi Garawi* desde el estribo izquierdo de la presa. Vaso del primitivo embalse.

te sencilla, y por otro lado, existen en este punto dos paquetes paralelos y totalmente horizontales de calizas que marcan el fondo y el techo del cauce, muy marcado en esta zona, y que han servido para delimitar las dimensiones de la presa, que se apoya sobre el cimiento que forma el paquete inferior de calizas. De esta manera, la presa se sitúa en un punto realmente favorable para su construcción dentro de las posibilidades de la zona, de tal manera que parece que los restos de la antigua obra aún ejercen una cierta función de retención de las ocasionales aguas del *wadi* y que el tramo aguas arriba de la presa aún puede transformarse en un eventual vaso de embalse, posible razón por la que el camino huye del fondo del

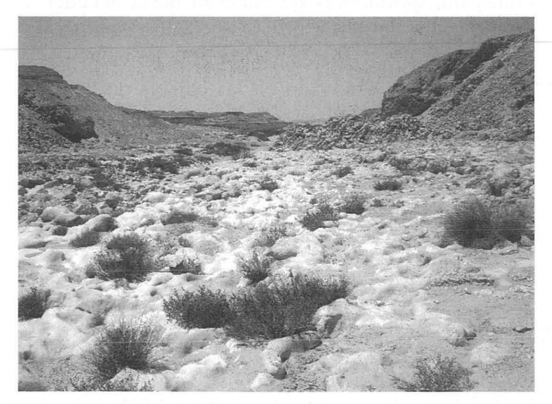


Figura 3
Lecho erosionado del cauce del *wadi Garawi* en la zona de la presa. Capa inferior de calizas que sirve de cimiento a la obra



Figura 4

cauce a partir de este punto. Por otro lado, la ubicación de la presa en este punto denota una evidente capacidad de planificación de sus constructores, así como un detallado estudio de la zona y de las condiciones de cimentación, aspectos éstos que no fueron en numerosas ocasiones contemplados en realizaciones posteriores de otras civilizaciones, incluyendo en muchos casos la época romana.

Descripción general

De la presa en la actualidad perviven restos de ambos estribos, habiéndose perdido en tiempos probablemente tempranos todo el cuerpo central de la presa. Es el estribo derecho de la presa el que en este caso ha conservado mejor la fábrica original, puesto que el estribo de margen izquierda se ha visto modificado en mayor medida, y en este caso, también afectado por el camino, que aprovecha este relleno para acceder al nivel superior del cauce. El cuerpo de la presa se encuentra formado por un núcleo central principal formado por material granular compactado, encapsulado entre dos rellenos de material pétreo o todo-uno a base de piedras de mediano tamaño sin desbastar, tanto aguas arriba como hacia aguas abajo, encontrándose el paramento de aguas arriba revestido mediante una sillería escalonada de tamaño medio que dan a la presa su aspecto más característico. No se han encontrado en la actualidad evidencias de que este revestimiento se encontrase también del lado de aguas abajo, aunque en principio pudiera parecer una manera de rematar esta obra que habría sido atractiva para los antiguos constructores egipcios.



Figura 5
Detalle sección tipo. Transición pedraplén - relleno granular



Figura 6
Cuerpo de presa en su estribo derecho desde aguas abajo

Esta descripción coincide bien a grandes rasgos con la sección de la presa dada hasta el momento presente (Garbretch, Schnitter), aunque podrían realizarse ciertas puntualizaciones en las dimensiones generales de la obra, sobre todo del lado de aguas abajo, que es curiosamente la más afectada por el paso del tiempo, hecho que podría apoyar la hipótesis de ausencia del escalonado de revestimiento exterior. Las dimensiones dadas hasta el momento para la presa son: 14 m de altura, 130 m de longitud en coronación y un espesor total que varía desde los 56 en coronación hasta los 98 m en la base, aunque otras fuentes reducen dichas dimensiones en el primer caso a 11 m de altura por 105 m de longitud en coronación. Según lo observado in situ, los espesores mencionados pueden resultar en la actualidad un poco exagerados, aunque dada la erosión encontrada en la parte de aguas abajo de la presa, ciertamente no sería de extrañar que las dimensiones originales de la presa pudieran llegar a ser las mencionadas por Garbretch. Por lo que se refiere a la altura de la presa, en la obra observada se superan en la actualidad los 11 m, llegando probablemente a los 14 m totales mencionados únicamente en el caso de medir hasta el fondo del cauce del *wadi* en el punto en que se encuentra la presa.



Figura 7
Detalle de la erosión del terreno de apoyo del estribo derecho aguas arriba de la presa debido al remanso de las aguas en este punto

Sin embargo, no parece que la presa original cimentase en realidad sobre el cauce actual del *wadi*, sino sobre el estrato calizo inmediatamente superior, y que el agua haya excavado ese sustrato precisamente a partir de este punto en las ocasionales crecidas. En efecto, las lluvias en esta zona completamente desértica son muy raras y espaciadas, pero cuando se producen deben ocasionar riadas de carácter torrencial de cierta importancia a juzgar por los arrastres encontrados en el lecho del cauce (donde abundan bloques de alrededor de 1 T de peso) y por la erosión observada en el mismo. Dado que los restos

de la presa aún producen un cierto efecto de embalse al inducir un estrechamiento en el cauce, se observa una mayor actividad en la capacidad erosiva del *wadi* en este punto, sobre todo en la zona inmediatamente aguas arriba del estribo derecho de la presa, así como en el fondo del cauce, que en este punto rompe el paquete calizo que le sirve de lecho aguas arriba de este punto, y que debió ser el que constituía el cimiento de la presa original. Es decir, que la erosión de la corriente ha remontado con toda probabilidad el salto original de este nivel de calizas a la capa inferior, por lo que cabe preguntarse si estos aproximadamente primeros 2 ó 3 m de altura formaron parte originalmente de la presa.

El elemento más característico de la presa lo constituye el revestimiento exterior, que únicamente se conserva en el paramento de aguas arriba del estribo derecho de la presa, aunque debió ser éste un elemento que se prolongaría a lo largo de, al menos, todo el paramento de aguas arriba. Este revestimiento está formado aparentemente por dos filas yuxtapuestas de sillares de mediano tamaño en cada una de las hiladas, que se apoyan cada una de ellas en la inferior, formando así una estructura escalonada, tal y como se observa en las fotos adjuntas. Esta estructura puede observarse en otras construcciones del antiguo Egipto, como por ejemplo en las primeras pirámides, para servir de apoyo a las piezas del revestimiento definitivo, que formarían finalmente un talud liso sobre el paramento exterior. Dicha disposición no puede ser confirmada sin embargo en el caso de *Sadd el Kaffara*, dado que no se ha encontrado pieza alguna con la forma necesaria para presentar una cara exterior lisa, lo que por otro lado tiene un claro sentido en un edificio monumental como una pirámide, pero pierde importancia en una obra pública funcional como esta presa.

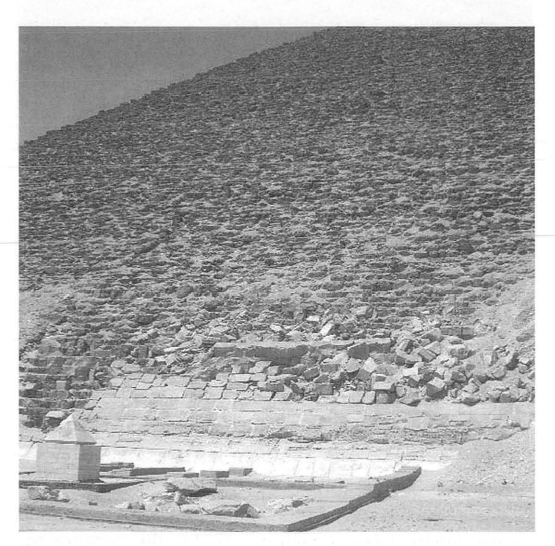


Figura 8
Revestimiento de la Pirámide Roja en *Dashur* (IV dinastía), donde se ven las piezas que dan el aspecto final liso al paramento, apoyadas en las hiladas inferiores de sillería escalonada



Figura 9
Fábrica de sillería escalonada en el paramento de aguas desde el estribo derecho de la presa. Se aprecia el diferente grado de erosión de las hiladas de sillería

El revestimiento conservado del paramento de aguas arriba está formado por sillares dispares dispuestos a hueso (sin aglomerante alguno) de dimensiones medias aproximadas de 0,25 × 0,50 m con 0,30 m de huella, lo que supone un peso máximo aproximado de menos de 100 kg por pieza (lejos de los 300 kg manejados por algunas fuentes). Se han conservado aparentemente unas 31 hiladas de sillares, lo que arroja una altura de revestimiento conservada de aproximadamente 8 m. Lo más llamativo de está fábrica de sillería está en el diferente origen de las piezas de las diferentes zonas del paramento, puesto que las 8 primeras hiladas contando desde el cimiento de la presa se encuentran formadas por una roca caliza con alto contenido fósil, diferente del material que forma las otras 23 hiladas, también a base

de piedra caliza, pero de naturaleza margosa, mucho más blanda, y por tanto más afectada por el paso del tiempo.



Figura 10
Detalle de la fábrica del revestimiento exterior del paramento de aguas arriba. Sillares calizos superiores visiblemente erosionados

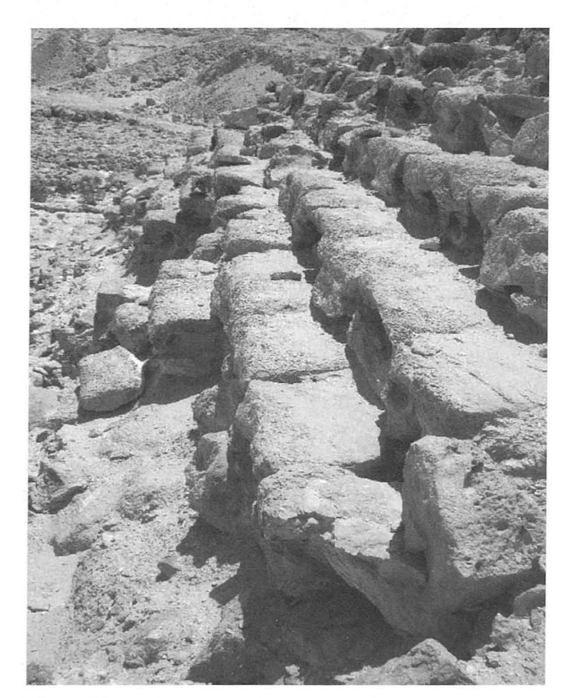


Figura 11
Sillería escalonada paramento. Posible apoyo de un revestimiento exterior

Como puede apreciarse en las fotos adjuntas, la fábrica de sillería de las primeras hiladas se encuentra en relativo buen estado de conservación, mientras que el resto de la fábrica presenta una gran erosión de origen principalmente eólico, que en muchos casos han vaciado casi por completo la pieza pétrea, a pesar de lo cuál el paramento conservado ha mantenido su estabilidad a lo largo del tiempo. La razón de este cambio del material utilizado forma parte también de la planificación observada en la obra llevada a cabo por sus constructores, que probablemente destinaron el material de mayor resistencia (y también de mayor dificultad en su manipulación) a la zona baja del paramento, por estar sometida a mayores solicitaciones por parte de la fábrica de la parte superior de la presa, y también a una más frecuente acción directa del agua del embalse.

En ambos casos, el material proviene de los paquetes calcáreos de la zona, y en el caso de las 8 primeras hiladas, es posible que los sillares hayan sido extraídos de la capa superior que marca la coronación de la presa, dada la similitud observada entre ambos materiales y la competencia de dicho material.

Por lo que se refiere al pedraplén de relleno de la capa intermedia que forma los espaldones de la presa, está formado por una amalgama de piedras de tamaños variados, pero generalmente menores que las piezas que forman el revestimiento exterior, y en todo caso, se trata de piezas sin ningún tipo de trabajo ni de material aglomerante, cumpliendo por tanto una función pasiva para la resistencia de la estructura por el propio peso del material. Esta fábrica, de forma trapecial, cuenta con un espesor próximo a los 10 m en coronación, superando por tanto los 20 m en la base de la presa. Las dimensiones de este elemento en el paramento de aguas abajo, son sin embargo mucho más difíciles de precisar, dado el peor estado de conservación de esta parte de la presa, ya que únicamente restan vagos vestigios de un posible relleno de pedraplén, sin que sea posible ni siquiera asegurar con rotundidad que este tipo de fábrica formase parte de la estructura original de la presa.

Finalmente, el cuerpo principal de la presa, en un espesor de al menos 30 m, estaba constituido por un relleno de material granular apisonado y compactado, formado por una mezcla de gravas y arenas con una importante matriz limosa que aparentemente fue dispuesto en tongadas de pequeño espesor, humede-

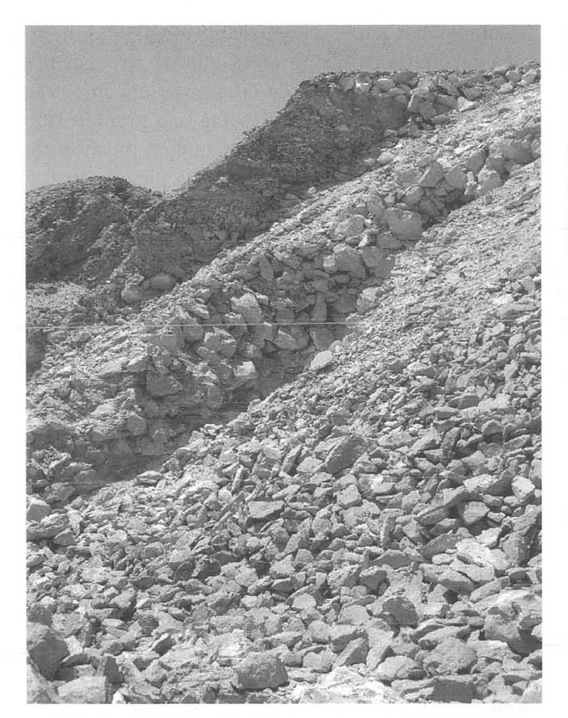


Figura 12
Zona del relleno de pedraplén del paramento de aguas arriba en el estribo derecho de la presa



Figura 13
Detalle del relleno que forma el cuerpo central de la presa en el estribo izquierdo. Apoyo del relleno granular sobre el pedraplén, donde se aprecia la disposición de las tongada inferiores inclinadas

cidas y compactadas posteriormente. En los restos del cuerpo de presa en margen izquierda es aún posible apreciar la disposición de parte de estas capas de relleno, que en algunos casos parecen estar dispuestas con un cierto talud con respecto al anterior espaldón formado por el pedraplén, lo cuál parece estar en relación con el método constructivo original de la presa, y no con una posible rotura o giro de las tongadas que formaban parte de este núcleo principal de la presa. Este elemento no sólo poseía una función estructural, al aportar la mayor parte de la resistencia por gravedad de la estructura, sino que debía constituir el elemento impermeable del cuerpo de presa, que impediría la filtración del agua embalsada a través del mismo. Por otra parte, y como ya hemos mencionado, es realmente difícil determinar con precisión las dimensiones originales de este elemento de la presa, dado el estado de deterioro del lado de aguas abajo, que hace que este relleno prácticamente se mimetice con el terreno circundante, y que no sea tampoco fácil afirmar cuál era la estructura exacta de la presa en este paramento.

Contexto de la obra

Dadas las características constructivas de la presa de *Kaffara*, se ha situado su construcción en una época temprana correspondiente al Imperio Antiguo egipcio, y en concreto, ha sido fechada con cierta aproximación sobre el año 2600 a.C, lo cuál podría corresponderse con la época de los faraones de la III dinastía, que abarca aproximadamente del 2650 hasta el 2575 a.C, desde el faraón *Zanakth* hasta *Huni*, y cuyo representante más conocido sería *Djoser* (2630 al 2611 a.C.), constructor del primer complejo funerario de *Saqqara*, quizá la primera edificación de importancia construida en piedra en todo el mundo, y del que forma parte la famosa pirámide escalonada, precedente del resto de pirámides existentes en Egipto.

En otras ocasiones, la construcción de la presa ha sido asignada a la época correspondiente a la IV dinastía, quizá debido a la mayor proximidad de las necrópolis de *Dashur*, punto característico de este periodo, situadas a unos 17 km hacia el oeste de la presa, aunque ya al otro lado del Nilo, como corresponde siempre a los monumentos funerarios egipcios.

Debe decirse que tanto en el tipo como el tamaño de la fábrica observada en el paramento exterior de la

presa, cabría establecer paralelismos con otros edificios conocidos de este periodo, incluyendo las primeras pirámides, dado que incluso la disposición escalonada de los restos conocidos del paramento presentan analogías con éstas, tal y como hemos mencionado anteriormente. Por otra parte, y por comparación con otras obras posteriores, pertenecientes ya a faraones de la IV dinastía, que se inicia con *Snofru*, la sillería del paramento es claramente de menor tamaño, dado que es precisamente con este último faraón cuando se produce una transición en los métodos y tipos constructivos que hacen que el tamaño de la fábrica sea netamente mayor a la de las edificaciones anteriores, y que se pase a la realización de obras mucho más ambiciosas; debe recordarse que *Snofru* fue el constructor de las primeras pirámides ya con su forma definitiva, situadas en la cercana zona de *Dashur*, como son la Pirámide Combada y la Pirámide Roja, ambas con más de 100 m de altura y que son el precedente claro e inmediato de las grandes pirámides de *Giza*, iniciadas con *Khufu (Keops)*, faraón hijo y sucesor de *Snofru*. Por tanto, y dejando aparte las evidentes diferencias entre una obra funcional como es esta presa y un monumento funerario, de enorme importancia en la antigua cultura egipcio, lo cierto es que parece en principio acertado situar la construcción de *Sadd el Kaffara* en un periodo inmediatamente anterior al 2575 a.C.

Por otra parte, se plantea el problema de la finalidad de la presa, puesto que se trata de una obra relativamente alejada en principio de las zonas habitadas en aquella época, y en concreto, de la antigua metrópolis de *Menfis*, y con un volumen de obra realmente importante incluso para nuestros días. Además, se trata de una obra claramente planificada y realizada por ingenieros que tuvieron en cuenta los numerosos factores que existían en el punto de ubicación de la presa para su construcción, por lo que su construcción debió obedecer una razón práctica de importancia. Dado que el *wadi Garawi* no afecta en todo su cauce hasta la desembocadura en el Nilo a poblaciones antiguas de importancia, no parece probable que su construcción haya sido motivada por la contención de las eventuales avenidas del cauce, como en ocasiones se ha mencionado.

Tampoco parece probable su construcción como cabecera de un sistema de riego, dado que estos sistemas se han situado desde el Neolítico junto a las riberas del Nilo, y han aprovechado precisamente la regularidad de este cauce mediante pequeñas obras de derivación, que por un lado, son fáciles de construir, y por otro, aseguran el suministro de agua para el riego durante todo el año, disponiendo de la que sea preciso en todo momento, no como en este caso, en que la estacionalidad del cauce del *Garawi* es tan acusada, existiendo periodos de tiempo muy prolongados, probablemente interanuales en numerosas ocasiones, en que no existiría aportación alguna. De esta manera, la finalidad clara de la presa de *Kaffara* era la de almacenaje, sirviendo de depósito de acumulación de las aguas que tan ocasionalmente deberían circular a través del cauce.

En las inmediaciones de la presa, principalmente aguas abajo, existen desde tiempos antiguos, y aún en la actualidad, canteras de explotación de la piedra caliza que se presenta en estratos de diversa potencia a lo largo del tramo que va desde el punto de ubicación de la presa hasta el Nilo. Dicho material, en adición a la abundancia de yeso existente asimismo en la zona, propicia que incluso en la actualidad exista una importante fábrica de cemento de la compañía estatal egipcia. De esta manera, conocemos que desde antiguo debe haber existido una importante población más o menos fija en relación con las canteras que debieron abrirse en relación con los nuevos grandes edificios que comenzaban a ser construidos en época faraónica, y cuyo abastecimiento de agua en una zona tan extremadamente árida debería ser garantizado mediante un depósito capaz, sin que fuera preciso el transporte de agua desde el Nilo, operación necesariamente penosa por la distancia y la diferencia de cota entre ambas zonas, ya que obligatoriamente dicho transporte sería realizado por medios humanos o por animales de carga. Parece por tanto imprescindible el hecho de que, para mantener una población flotante de trabajadores, cuyo número sería en cambio elevado de manera continuada, sea necesaria la construcción de una infraestructura que permita la obtención de agua, ya que las características del terreno no parecen por otro lado las propicias para la existencia de pozos, al menos a poca profundidad, que pudieran ser explotados en aquella época.

El *wadi Garawi*, que atraviesa esta zona de canteras, cuenta con aportaciones muy esporádicas, pero de cierta importancia, que pudieran haber sido aprovechadas para ser almacenadas para su posterior consumo, introduciéndose de esta manera el concepto de presa de embalse por primera vez en la Historia. No

es posible establecer en la actualidad si la presa contó en su origen con algún tipo de elemento de regulación, como por ejemplo, un desagüe de fondo, aunque dado lo temprano de la fecha de la construcción de la presa dentro del contexto de la Historia de las Obras Hidráulicas, no parece probable. Tampoco es posible en la actualidad la localización de algún tipo de canal aguas abajo de la presa que sirviese para el transporte de las aguas acumuladas, aunque en este caso, sí que es posible que dicho elemento existiese realmente, dada la experiencia previa de los egipcios en la derivación de agua para el riego en el valle del Nilo, lo que hubiese permitido mejorar la funcionalidad de la presa al pasar de ser un simple depósito a ser la cabecera de un sistema de abastecimiento de agua, probablemente el primero en la Historia.

La rotura de la presa debió producirse con probabilidad cuando se encontrase llena en un mayor o menor nivel, debido a la infiltración del agua a través del espaldón, que produciría la disolución y arrastre de material, y posterior desmoronamiento del cuerpo central de la presa, o quizá incluso por el vertido por coronación sobre la misma, circunstancia ésta muy desfavorable para el caso de una presa de materiales sueltos, como es bien conocido en la actualidad, y que es posible que llegase a producirse en alguna ocasión precisamente por la eventual ausencia de aliviaderos o de cualquier otro tipo de elementos de regulación. Sin embargo, y a pesar de que es posible que alguna riada del *wadi* afectase a la presa durante su construcción, que presumiblemente duraría varios años, parece que la obra fue concluida y llegó a ser terminada, hipótesis que viene avalada por el hecho de que la coronación actual de los restos de la presa deben coincidir necesariamente con la cota de coronación original de la presa. Algunos autores han estimado la vida útil de la obra en 1300 años, situando la fecha de su fallo definitivo sobre el 1300 a.C, lo cuál podría relacionarse con una época de abandono en la explotación de las canteras situadas en las inmediaciones de la presa por una disminución en la producción de grandes edificaciones en las necrópolis cercanas.

Conclusiones

La presa de *Sadd el Kaffara* constituye quizá la primera obra hidráulica de importancia conocida en la Historia y supone el primer ejemplo de intento de planificación hidráulica, y no sólo eso, sino incluso de obra pública conocida. Su finalidad no está aún clara, pero parece haber sido construida para abastecimiento humano, siendo parte integrante de las realizaciones de una civilización que consiguió importantísimos avances en la Historia de la Técnica en particular y en organización social en general. El destino del agua parece estar relacionado el la existencia de importantes canteras de explotación de material calizo aguas abajo de la presa, cuya población de trabajadores sería muy difícilmente abastecida a partir del agua del Nilo, único cauce permanente de la región

Su probable fecha de construcción (sobre el año 2600 a.C), enmarcada dentro de las primeras realizaciones de la III Dinastía, responsable de las más antiguas edificaciones que fueron erigidas para perdurar, y construidas por tanto en piedra, la sitúan como precedente de todas las posteriores presas realizadas, y por otro lado, constituye el primer ejemplo conocido de presa de embalse, construida para servir de depósito indefinido para las esporádicas aportaciones de agua de un cauce irregular, y proyectada por tanto con una finalidad también de perdurar en el tiempo, al contrario que las eventuales realizaciones anteriores sobre un cauce permanente, de escaso porte, para derivación de agua para riego o abastecimiento, cuya ruina no supondría en principio un accidente de importancia, como sí lo sería en este caso.

La estructura de la presa posee ya, a pesar de su temprana realización, una cierta complejidad, contando con un espaldón de tierras compactadas aguas abajo de gran potencia, que aparte de cumplir con una importante función estructural, al aportar la mayor parte del peso de la obra, que resistía por gravedad, serviría de elemento impermeabilizador de la presa, aunque la eficacia real de dicha función no está comprobada dada la naturaleza de los materiales de los que está compuesto. Tras este elemento, encontramos aguas arriba (y quizá también aguas abajo), un nuevo relleno de pedraplén o todo uno que sirve, por un lado, para delimitar y servir de encofrado al núcleo central de la presa, y por otro, como apoyo para el revestimiento exterior del paramento. Dicho paramento, el tercer y último elemento de la sección tipo de la presa, estaba formado por una fábrica de sillería puesta en obra sin aglomerante alguno, y servía para dar el aspecto final a la obra, y sobre todo, para aportar estabilidad a los elementos

estructurales interiores de la presa y preservarlos en primera instancia de la acción erosiva del agua y de la intemperie.

Las importantes dimensiones de la presa: al menos 12 m de altura en origen, con una longitud de coronación superior a los 100 m y un espesor en la base de probablemente más de 80 m, la sitúan de por sí en una posición predominante dentro de las presas antiguas, incluyendo dentro de estas las importantes presas de época romana, de las que únicamente 4 presas de las conocidas en todo el mundo superan la altura de *Sadd el Kaffara* y que en ningún caso poseen un volumen de material puesto en obra tan importante, que en este caso, superaría la cifra de 80.000 m^3 totales.

La importancia de la obra de *Sadd el Kaffara*, no sólo por su envergadura, sino por su posición preeminente dentro de la Historia de la Construcción, deben servir de acicate para que posteriores estudios profundicen sobre el estudio de esta presa, lo que servirá con toda seguridad de base para el conocimiento de las obras públicas históricas, cuya difusión permite albergar esperanzas sobre la preservación de estas importantes realizaciones humanas. En este caso, los párrafos que anteceden únicamente pretenden dar una mera aproximación sobre esta interesante obra, aportando una serie de ideas sobre su construcción para futuras investigaciones.

Lista de referencias

Garbretch, G.1985. Sadd-el-Kafara, the world's oldelst large dam. *Int. Water Power and Dam Construction,* 71–76.

Schnitter, N. J. 1994. *A History of dams. The useful pyramids.* Rotterdam: 1994 (trad. esp. Colegio de Ingenieron de Caminos, C. y P. Madrid: 2000). inglesa).

Vincent M.; Stradling R. A. *Atlas cultural de Egipto. Dioses, templos y faraones.* Madrid 2000.

Páginas web:

www.simscience.org

www.arquitectuba.com.ar

La construcción de la fachada de la iglesia de San Félix de Girona

Miquel Àngel Chamorro Trenado

Antes de centrarnos en la ejecución de la fachada de la antigua colegiata de San Félix de Girona, comentaremos de forma muy breve la cronología de la construcción de este templo (fig. 1). Nos encontramos ante una iglesia de la cual se aprovecharon las estructuras románicas preexistentes. Este templo románico fue parcialmente destruido el año 1285 tras el sitio del rey francés Felipe el Atrevido. A principios del siglo XIV se opto por rehacer el edificio. A partir del 1309 se trabaja en la construcción de la iglesia ya que, aunque los préstamos obtenidos para la Obra son del sepulcro de San Narciso, este no se realizó hasta finales del primer tercio del siglo XIV. Lo que si queda claro es que en el año 1315 y 1321 se ejecutaban obras en el ábside.

A partir del año 1348 y hasta el año 1391, los libros de obra conservados de la iglesia (sobretodo los de gastos), aportan una información exhaustiva sobre la cronología constructiva de este edificio. En primer lugar tendríamos que destacar la construcción de la capilla de Vendrell o del Santo Sepulcro durante el año 1349. Se ejecutó rápidamente debido a las dimensiones del espacio y por la estabilidad que encontramos en Girona y en Cataluña después de la terrible Peste Negra. La segunda gran construcción que se realiza en la iglesia de San Félix de Girona será el claustro gótico —existía uno románico— construido entre el mes de mayo de 1357 y finales del 1360. Este espacio fue desmontado el año 1374 por el peligro que suponía para la iglesia y para la ciudad ante la entrada de tropas procedentes de tierras francesas.

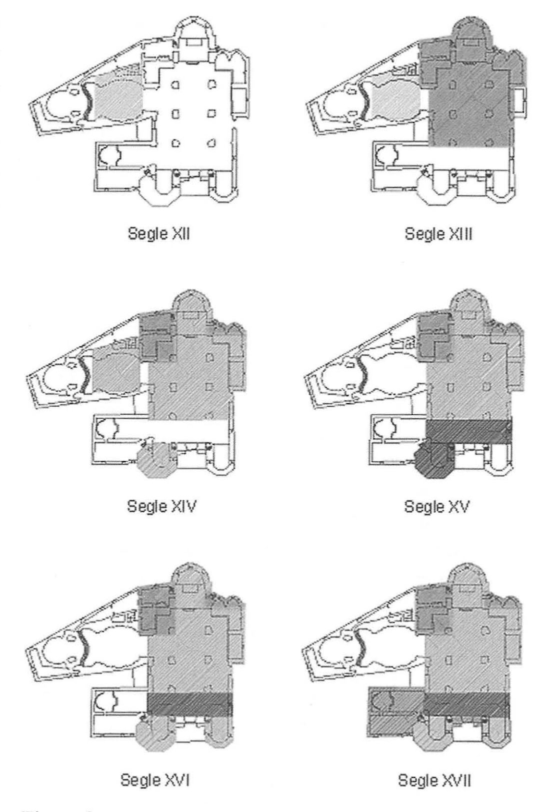


Figura 1
Plantas de la evolución constructiva de la iglesia de San Félix de Girona en el siglo XIV (Giró, Martín, Rodríguez 2004)

El año 1368 se inicio la ejecución del campanario gótico, obra de Pere de Comes, acabado a finales del siglo XVI.

Durante la realización de todas estas obras, la iglesia de San Félix hubo de ser fortificada en innumerables ocasiones. Este hecho hizo que la construcción del templo fuese muy lenta y se dilatara en el tiempo ya que gran cantidad del dinero destinado a su construcción tuvo que invertirse en obras de fortificación de la misma. La iglesia no fue finalizada, en la longitud que conserva actualmente, hasta finales del siglo XV y la fachada fue terminada a principios del siglo XVII. En el siglo XVIII fue añadida la capilla barroca dedicada a San Narciso.

La construcción de la fachada

Una vez finalizada la construcción del campanario de la iglesia de San Félix de Girona y ya en el siglo XVII se ejecuto la fachada barroca (fachada-retablo) tomando como modelo la de la Catedral y la de la iglesia de San Martín «Sacosta» de la ciudad de Girona (fig. 2). La construcción de la fachada barroca de la iglesia de San Félix de Girona no se inicio hasta el año 1605 aunque el cabildo ya tenia la voluntad de realizar esta obra desde el 4 de julio de 1600.[1] La congregación de parroquianos y obreros de San Félix empezaron a plantear-se su construcción en reunión celebrada el 1 de mayo de 1600.[2] Antes de iniciarse su construcción se contrato la realización de una maqueta de madera a los carpinteros de Girona, Antoni Moret y Joan Prats siguiendo la traza realizada por el maestro de obras Llàtzer Cisterna.[3]

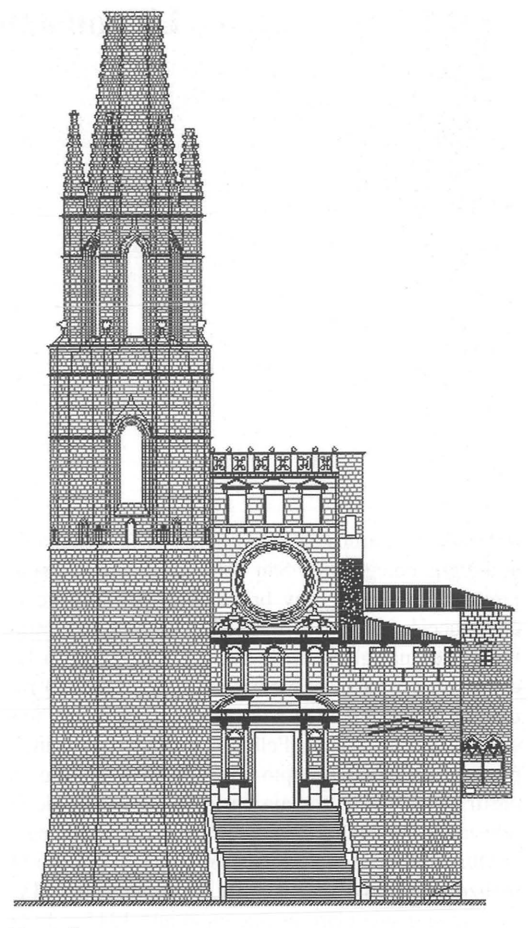


Figura 2
Alzado fachada y campanario iglesia de San Félix de Girona (Alegre, Crous 2003)

El contrato, de fecha 29 de julio de 1601, para la realización de la maqueta, que nos describe como tenia que ser la fachada, distingue entre el primer y el segundo cuerpo (dos niveles). El primer cuerpo tenia que seguir el orden corintio, con un portal con arquitrabe «y que faça la gola de la alquitrava entellada de unas fulles, y per la vora de la alquitrava fassa uns altiris rodons y perllongats, y que haja de fer los pedestrals resaltats, conforme stan en la traça ab la altària, gruxes, volades de corniza y volada de raza, conforme demana l'orde coríntio».[4] Y al final apunta que se haga siguiendo las proporciones que establece el orden corintio. Pero no cualquier orden corintio sino «com lo art coríntio en Vinyoles [Vignola] stà posat».[5]

En este primer cuerpo tendríamos columnas acanaladas —con base, fuste y capitel— entre medio de las cuales encontraríamos nichos acabados con pechinas en la parte superior (fig. 3). En estas hornacinas se tenia que representar el martirio de los santos (no se especifica cuales pero debía tratar-se de San Félix y San Narciso. Además «la alquitrava, friza y cornizas haja de star ab l'orde següent, ço és, que haja de fer la goleta de la alquitrava entallada y sota de la goleta que haja de aver un bordó conforme està en Vinyoles [Vignola], en l'orde coríntio, y que la friza tinga més altària que no té ab la traça, y que la corniza haja de fer conforme està en l'orde corintio



Figura 3
Fotografía del primer cuerpo de la fachada de la iglesia de San Félix de Girona (Alegre, Crous 2003). Como se observa las columnas se hicieron lisas en contra de lo citado en el contrato para la realización de la maqueta

en Vinyoles [Vignola], ab sas màscaras, mènsulas, òvols, dantell, gola, bordó y dolçaina, y tots los altres membras conforme stà ab dita corniza de Vinyoles [Vignola]».[6] Como podemos observar la maqueta era una guía para la construcción y servia para modificar algún aspecto de la traza inicial que no acababa de gustar a los promotores de la obra.

En el segundo cuerpo, a diferencia del primero se tenia que seguir el orden compuesto y «las columpnas àjan de ésser una part més altas que no són en la traça, que tindran vint-y-un palm, y que las ninxas hàjan de ésser de altària de catorze palms».[7] El resto de este cuerpo tenia que seguir las mismas directrices que el inferior. Cita el contrato que entre las hornacinas y el arquitrabe se tiene que hacer un plafón donde aparecerán las caras de Santa Cecilia y Santa Inés.

El contrato además fija claramente las dimensiones que han de tener los nichos donde se ubicara la figura de la virgen Maria. Finalmente menciona el rosetón y el remate final con arquitrabe, friso y cornisa sobre los cuales se abrirán unas ventanas (fig. 4).

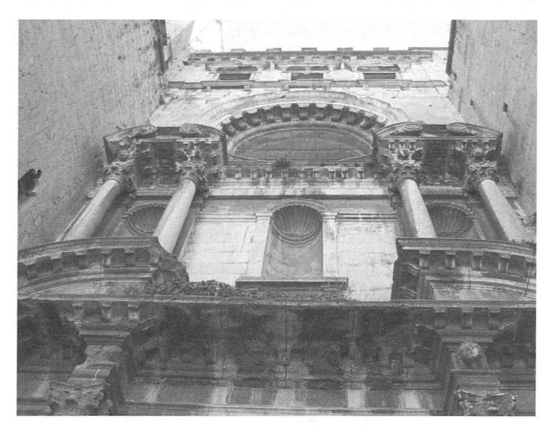


Figura 4
Fotografía del segundo cuerpo de la fachada de iglesia de San Félix de Girona (Alegre, Crous 2003)

En el contrato se indica que la maqueta se hará con madera seca de árbol blanco y que esta ha de ser un modelo fiel ya que será la guía que utilizara el arquitecto en la construcción de la fachada. Los carpinteros se comprometen a acabar la maqueta en diez meses. Esta tenia que tener una altura de dieciséis palmos y medio (un poco más de 330 cm., unas dimensiones respetables) y por ella tenían que cobrar Moret y Prats ciento ochenta libras barcelonesas en tres pagas iguales (al inicio, a la mitad y al finalizar la maqueta).

Según Clara, la obra se realizo en dos fases: la primera contratada el 23 de enero de 1605 a los picapedreros Felip Regí y Joan Jausí[8] y la segunda contratada el 1 de junio de 1610 al maestro Felip Regí.[9] La concepción de la fachada —o sea la traza de Llàtzer Cisterna— se hizo siguiendo el libro de Jacopo da Vignola (1507–1573) *Regola delli cinque ordini d'architectura* (1562), que circulaba en versión castellana de Patricio Caxesi desde el año 1593. Encontramos alusiones constantes a este arquitecto italiano. En los contratos para la construcción de la fachada donde aparece con todo lujo de detalles como tenia

que ser la fachada, cuanto se pagaría por su realización, de donde se tenía que extraer la piedra para su construcción y cuanto tiempo tenia que durar la obra. Parece ser que los trabajos habían finalizado en el año 1629.

El primer cuerpo, como hemos comentado anteriormente, fue encargado a los maestros picapedreros del pueblo de Sant Martí Vell, Felip Regí —de origen francés— y de Palafrugell, Joan Jausí. El primero era un maestro de reconocido prestigio ya que trabajo en la construcción del campanario de Sant Martí Vell, en la iglesia, portalada y claustro de la iglesia de San Martín «Sacosta» y en el puente nuevo de la casa Agullana ambas construidas en la ciudad de Girona. Estos tenían que levantar el primer cuerpo hasta la altura de los pedestales que daban inicio al segundo cuerpo utilizando piedra de Pedret o de Montjuic (caliza nummulítica existente en dos canteras muy próximas a la ciudad de Girona), siempre que esta ultima fuera tan buena como la de Pedret. Los picapedreros tenian que cobrar por este primer cuerpo «per tota la dita feyna y obra per a mans, pertrets y altres despeses, mil cent noranta lliures en menuts, an los térmens y pagues en la sobreescrita tabba specificats y contenguts».[10] Clara cita que según acta de la reunión de parroquianos de la iglesia de San Félix de Girona, este primer cuerpo estaba acabado el 29 de abril de 1607.[11] Respecto a esta fecha de finalización dada por Josep Clara tenemos que añadir que el último pago es del 8 de mayo de 1607[12] y que el 24 de agosto de 1607 la obra ya estaba acabada.[13]

Respecto al segundo cuerpo, obra de Felip Regí, ya existían noticias de la intención de construir-lo en fecha 29 de abril de 1601[14] y 2 de mayo de 1610.[15] En las obras de este segundo cuerpo se especificaba que también se tenía que levantar el campanario de la capilla de Santa Ana, seguramente debido a su poca altura que haría que la fachada principal no quedase bien integrada.

Curiosamente, se vuelve a citar que este segundo cuerpo se hará siguiendo la traza del maestro Cisterna, lo cual nos hace pensar que la maqueta se había perdido o había sido destruida. Para reafirmar este extremo se tiene que añadir que si como dice el contrato «dits capitells sían de orde coríntio, conforme estan en la dita trassa»[16] no se estaría siguiendo el modelo de madera ya que en el contrato para la su realización se especificaba que el segundo cuerpo se tenia que realizar siguiendo el orden compuesto. Además se tiene que añadir que en este segundo cuerpo se tienen que hacer «quatre columnes, ço és, dos per cada costat de la portalada, y que la vasa de quiscuna columna haja y dega esser de una pessa portant la matexa mollura que aporta la vaza, y la canya o canó de quiscuna columna haja també de ésser de una pessa y quiscun capitell també de una pessa, axí que quiscuna columna sia de tres pessas tant solament, ço es, vasa, canya y capitell»,[17] es decir, que el segundo cuerpo se realizara prácticamente como el primero. Otro dato que corrobora este hecho es que se nos dice que las columnas tienen que ser lisas, cuando en el contrato para la realización de la maqueta, estas tenían que ser acanaladas.

A pesar de que todos estos elementos nos hacen pensar que la maqueta había desaparecido hacia la mitad del contrato se vuelve a hacer referencia a que la parte alta de este segundo cuerpo, ventanas y barandas de coronación, se harán siguiendo el modelo de madera. Por tanto nos encontramos en que se opta por cambiar durante la ejecución de la obra el proyecto inicial que quedaba reflejado en la maqueta de madera.

Tendremos por tanto cuatro columnas y tres nichos, arquitrabe y friso —este último con una inscripción referente a Santa Maria, San Félix y San Narciso— cornisas y ménsulas resaltadas y la O (rosetón). Respecto al rosetón (fig. 5) parece ser que existía un dibujo —se trataría de una sección— de este ya que se nos dice «sia obligat en fer una O, conforme la amplària y la altària y molluras y rajols y mènsulas de pessas conforme està en la trassa assenyalat y conforme ab un perfil de pergami està assenyalada».[18]

Felip Regí tiene que facilitar todo el material, las herramientas y los medios auxiliares para la realización de la fachada excepto 1.000 cuarteras de cal, sin apagar, que le proporcionaran los obreros de San Félix. También se compromete a dejar el primer cuerpo tal y como se encuentra al inicio de su intervención y por tanto, si se rompe alguna de sus partes durante la ejecución del segundo cuerpo, las tiene que reparar y pagar-lo de su bolsillo. En el contrato se obliga al maestro a hacer servir piedra de Pedret, para asegurar una buena ejecución ya que la caliza de Montjuic era de menor calidad.

El maestro también se compromete a elevar el campanario sobre la capilla de Santa Ana, hasta la altura de la segunda bóveda del campanario ya acaba-

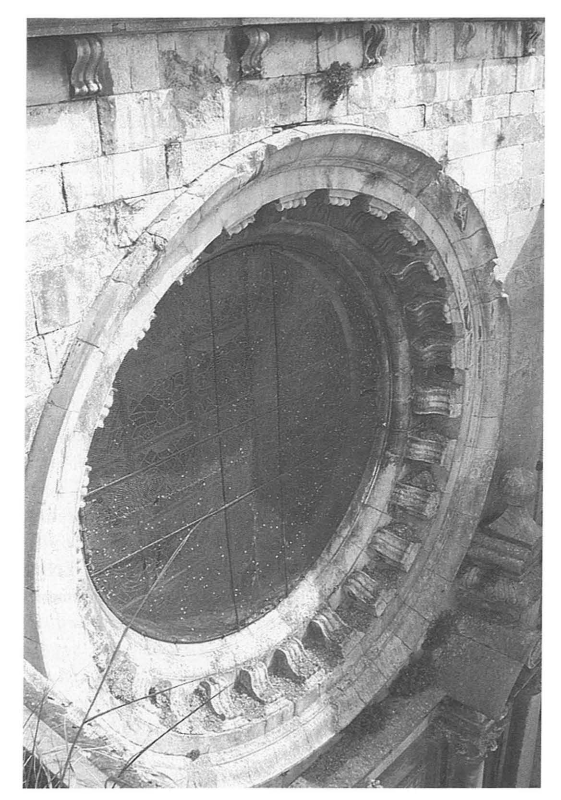


Figura 5
Fotografía del rosetón de la fachada de la iglesia de San Félix de Girona (Alegre, Crous 2003)

do donde se encuentran las campanas —el situado a la izquierda de la fachada—, y acabar el tejado de dicho campanario. Se recalca que la fachada este bien trabada con los dos campanarios diciendo que «per tot haja dexar caxals per lligar dita obra sempre que voldran fer dit campanar, y que dits caxals hajen de correspondre a l'altre pany o otrovat de dit campanar».[19] También se tendrá que realizar una escalera que comunique el campanario con el mirador de la parte superior de la fachada.

Felip Regí se compromete a ejecutar la obra en cuatro años. Por su realización recibirá 200 libras a la firma del contracto y pagas sucesivas al avanzar los trabajos[20] y 250 libras un año después de acabada su construcción. En total el maestro tendrá que recibir 1955 libras. Una vez acabada la obra cuatro maestros, dos elegidos por los parroquianos y dos por el maestro, tendrán que dar el beneplácito a la obra. Además se ejercerá un control anual para comprobar que los trabajos avanzan en los plazos previstos. La fachada estaría acabada el 29 de abril de 1629.[21]

Conclusiones

Como hemos podido observar nos encontramos ante una fachada realizada siguiendo las directrices de uno de los más importantes arquitectos italianos del renacimiento, Jacopo da Vignola. Porqué se utilizo el tratado de Vignola y no el de Serlio? Pues seguramente fue porque el primero era eminentemente práctico y las ilustraciones eran más importantes que el texto hecho que favorecía su interpretación y aplicación. Otra razón podría ser que mientras el de Vignola era un «manual», el de Serlio era de gran formato por lo que era más fácil la circulación del primero. Nos encontramos pues, ante una fachada-retablo donde los ordenes clásicos tienen una gran importancia.

Esta comunicación pone de manifiesto la existencia de dos tipos de soporte utilizados por los maestros de obra (picapedreros o escultores) para la ejecución de la obra: la traza, seguramente sobre pergamino, realizada por el maestro de obra, y la maqueta de madera, fabricada por el carpintero. No nos ha de extrañar ya que es una práctica habitual y que se utilizaba mucho antes del período cronológico de la construcción de la fachada estudiada.

Finalmente resaltar la importancia que tienen los contratos o capitulaciones para la historia de la construcción ya que son una fuente que aporta gran cantidad de datos sobre la obra. Entre los datos habituales como los autores y promotores, que desde nuestra perspectiva no son los más importantes, tenemos que destacar la información referente al estilo arquitectónico utilizado —normalmente siguiendo una traza o como en nuestro caso con la ayuda adicional de una maqueta de madera—, a las dimensiones de los diferentes elementos que configuran la fachada y a las piezas que los conforman, a los materiales utilizados —incluyendo la zona donde se extraen— y a su calidad, a las obligaciones del maestro de obra como por ejemplo la contratación de mano de obra, a los plazos de ejecución, al coste de la obra, a algunas de la herramientas utilizadas —en nuestro caso se cita la bujarda para hacer el rosetón— y a la peritación previa de la obra antes de la recepción definitiva.

Notas

1. CLARA, J. 1989, p. 161.
2. AHPG, Pere Mir, notaria 3 de Girona, núm. 453 y 454.
3. Clara da como referencia AHPG, notaria 3 de Girona [J. Riurans], núm. 456 pero consultando este archivo hemos encontrado que no corresponde al notario J. Riurans sino al notario Pere Mir y por tanto se tendría que citar AHPG, Pere Mir, notaria 3 de Girona, núm. 456.
4. AHPG, Pere Mir, notaria 3 de Girona, núm. 456.
5. AHPG, Pere Mir, notaria 3 de Girona, núm. 456.
6. AHPG, Pere Mir, notaria 3 de Girona, núm. 456.
7. AHPG, Pere Mir, notaria 3 de Girona, núm. 456.
8. Igual que sucede con el contrato para hacer la maqueta de la fachada, Clara cita que el contrato para la construcción del primer cuerpo de la fachada de la iglesia de San Félix de Girona se encuentra en AHPG, notaria 3 de Girona (J. Riurans), núm. 480, cuando en realidad se trata del notario Pere Mir y por tanto se tendría que citar AHPG, Pere Mir, notaria 3 de Girona, núm. 480.
9. AHPG, Joan Riurans, notaria 3 de Girona, núm. 498.
10. AHPG, Pere Mir, notaria 3 de Girona, núm. 480.
11. Ver nota a pie de página 8 en CLARA, J. 1989, p.164. Aquí Clara no cita el notario pero vuelve a ser Pere Mir.
12. AHPG, Pere Mir, notaria 3 de Girona, núm. 484.
13. AHPG, Joan Riurans, notaria 3 de Girona, núm. 493. Encontramos otros pagos en AHPG, Pere Mir, notaria 3 de Girona, núm. 480 y 482 y AHPG, Joan Riurans, notaria 3 de Girona, núm. 491.
14. AHPG, Pere Mir, notaria 3 de Girona, núm. 458 y 456.
15. AHPG, Joan Riurans, notaria 3 de Girona, núm. 498.
16. AHPG, Joan Riurans, notaria 3 de Girona, núm. 498.
17. AHPG, Joan Riurans, notaria 3 de Girona, núm. 498.
18. AHPG, Joan Riurans, notaria 3 de Girona, núm. 498.
19. AHPG, Joan Riurans, notaria 3 de Girona, núm. 498.
20. Ver AHPG, Joan Riurans, notaria 3 de Girona, núm. 498.
21. Ver nota 10 en CLARA, J. 1989, p.164.

Lista de referencias

AHPG. Archivo Histórico Provincial de Girona. Actualmente Archivo Histórico de Girona.

Alegre, N. y Crous, G. 2003. *Església de Sant Felio de Girona. Diagnosi de lesions de les façanes*. Director del proyecto final de carrera: M. A. Chamorro. Universitat de Girona. Departamento de Arquitectura e Ingeniería de la Construcción (inédito).

Clara Resplandís, J. 1989. «La façana principal de la Col.legiata de Sant Feliu de Girona». En *El barroc català: actes de les jornades celebrades a Girona els dies 17, 18 y 19 de desembre de 1987*. Barcelona: Quaderns Crema.

Clara, J. y Marquès, J. M. 1992. *Sant Feliu de Girona*. Col.lecció Sant Feliu. Girona: Parròquia de Sant Feliu.

Giró, D.; Martín, J. y Rodríguez, J. A. 2004. *Aixecament, modelació 3D, anàlisi històric, constructiu y estructural de l'església de Sant Feliu de Girona dels segles XIV–XV*. Directores del proyecto final de carrera, M. A. Chamorro y M. Llorens. Universitat de Girona. Departamento de Arquitectura e Ingeniería de la Construcción (inédito).

Marquès, J. M. 1999. «Construcció de les esglésies de Palafrugell y Mont Ras». En *Estudis del Baix Empordà* 18, 54–64. Sant Feliu de Guíxols.

Marqués, J. M. 2001. «El temple de Sant Feliu de Girona, al s. XIV». En *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins XLII*, 131–150. Girona.

Wiebenson, D. 1988. Los tratados de arquitectura. De Alberti a Ledoux. Madrid: Hermann Blume.

Restaurar una obra pública en la época de la Ilustración: el puente de Alcántara

Daniel Crespo Delgado
Marta Grau Fernández

En la España de las Luces sería difícil encontrar viajeros más tenaces y esforzados que el valenciano Antonio Ponz. Y también más curiosos. De hecho, Ponz cumplió con creces el mandato del viajero ilustrado de mantener una actitud despierta e inagotable ante los lugares recorridos. Pocas cosas escaparon a sus ansias de ver y comprender. Desde tales supuestos, entenderíamos que nada más llegar a la villa de Alcántara tras un penoso viaje por las desamuebladas tierras extremeñas, se encaminase a ver su cercano y celebérrimo puente (fig. 1). Sus palabras al encontrarse ante la famosa construcción fueron elocuentes de su asombro: «y sin embargo de cuanto sabía de ella me sorprendió el contemplar tan admirable y magnífica obra» (Ponz 1772–94, 8: II, 6). Pero tan grande como su fascinación fue su amargura al considerar la escasa divulgación que había tenido este puente más allá de expresiones y juicios genéricos. Denunció que hasta la publicación en 1763 de la *Crónica de la Orden de Caballería de Alcántara* de Fray Alonso Torres Tapia, «no había descripción ni estampa del puente por donde los extranjeros pudiesen tener noticia de tal obra, sin embargo de ser una de las mayores y más bien conservadas de la antigüedad» (Ponz 1772–94, 8: II, 11).[1] Es más, Ponz señaló que tal descuido no sólo era antiguo sino generalizado, afectando de una manera u otra a la mayor parte del patrimonio monumental español, ya fuese artístico o ingenieril. Según el valenciano, «nosotros, como nuestros antepasados, nos hemos cuidado poquísimo de ostentar lo que tenemos de importancia, habiendo sido, a veces, muy diligentes los escritores de pueblos y ciudades en referir menudencias de poca entidad, y que algunas hubieran hecho mejor en dejarlas de escribir» (Ponz 1772–94, 8: II, 10).

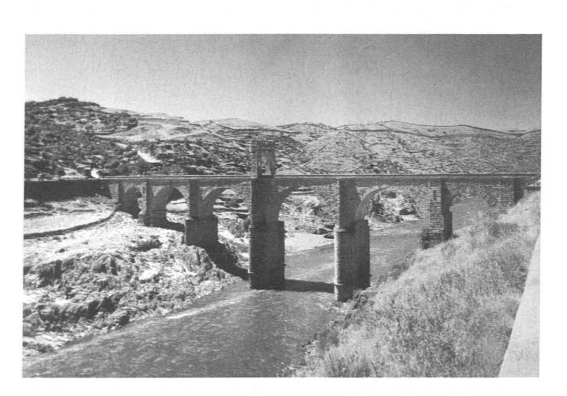


Figura 1
Vista del puente de Alcántara

Lo cierto es que ésta no fue la única ocasión en la que Ponz manifestó una opinión similar. Su muy difundido *Viaje de España* está jalonado de lamentos por la falta de interés que hasta la fecha los españoles habían mostrado por el estudio y la difusión de las construcciones relevantes que ostentaba el país, dedicando sus esfuerzos intelectuales a ocupaciones mucho menos relevantes. Y es que para Ponz, el legado monumental e histórico poseía una importancia de primera magnitud, ya que revelaba el grado de desa-

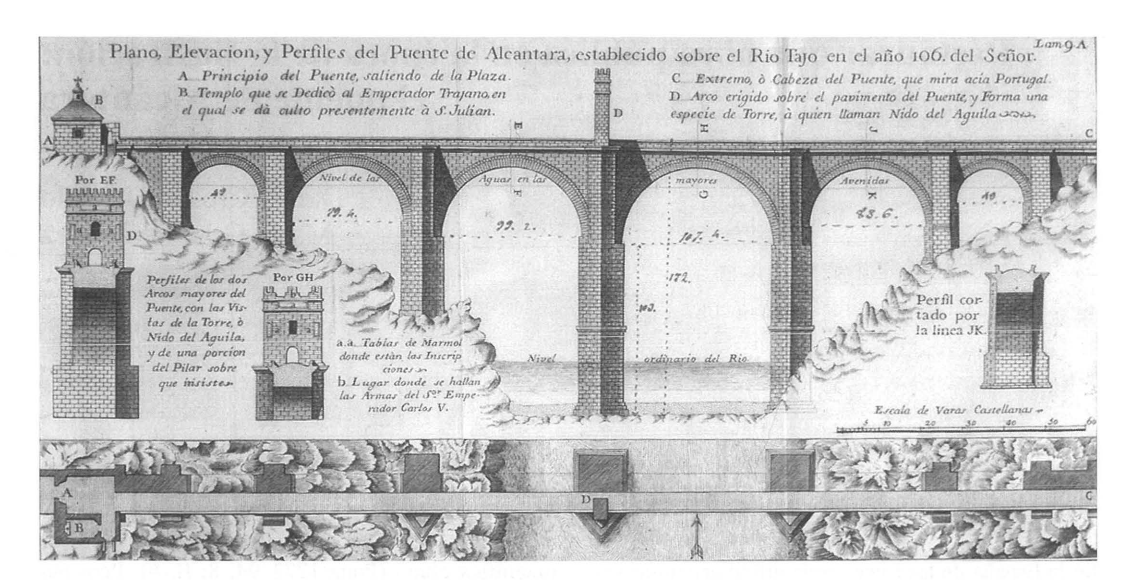


Figura 2
Miguel Sánchez Taramas. Plano, elevación y perfiles del Puente de Alcántara. 1769

rrollo y la ilustración de una comunidad. Lo expresó de manera clarividente en su *Viaje de España* al escribir que las bellas artes y de manera especial la arquitectura era «el sobrescrito de una nación ya que de su grandeza, regularidad o deformidad se infiere el estado de cultura que hay en ella». Puso los ejemplos de Egipto, Palmira, Baalbek y, sobre todo, el de Roma, cuyo paseante, teniendo simplemente «los ojos abiertos» conocería a través de sus muchos monumentos «la grandeza de su antiguo imperio y la cultura de los felices siglos de Augusto y de León X» (Ponz 1772–94, 11: I, 17).

Esta renovada consideración del patrimonio edilicio y artístico como testimonio de la cultura de una nación no fue, ni mucho menos, una aportación original o exclusiva de Ponz. Al contrario, fue una idea lanzada por la generación ilustrada, si bien el valenciano fue uno de sus defensores más destacados en España.[2] No es este el lugar para desmenuzar tan apasionante fenómeno, pero digamos que de esta nueva mirada surgió un vivificante interés ya no sólo por el estudio y la difusión de dichos bienes, sino también por su conservación. No es casual, pues, que en este momento se promulgasen las primeras leyes proteccionistas del patrimonio. Aunque surgidas desde distintos frentes, en muchas de estas iniciativas tuvo un papel protagonista la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando de Madrid. De hecho, Antonio Ponz ocupó entre 1776 y 1791 uno de los cargos más influyentes de dicha institución, el de secretario. Y no sólo Ponz, prácticamente todas las personalidades relevantes de las artes de la España ilustrada se relacionaron, de manera más o menos privilegiada, con la Academia de San Fernando. De ahí que esta institución, recordemos que fundada en 1757, fuese el escenario de debates y la fuerza motriz de proyectos de gran trascendencia no sólo para los caminos que tomaron las bellas artes contemporáneamente, sino también en la consideración pública que el patrimonio estaba adquiriendo en España a la par, apuntémoslo, de lo que ocurría en toda la Europa occidental.

La Academia, por ejemplo, amparó la publicación del *Diccionario histórico de los más ilustres profesores de bellas artes en España* (1800) de Juan Agustín Ceán Bermúdez, el primer diccionario moderno de artistas y una brújula para el conocimiento del pasado de nuestras artes todavía útil hoy en día; o la de las *Antigüedades Árabes de España* (1787–1804), un monumental compendio de grabados de la mezquita de Córdoba, la Alhambra de Granada y otros edificios históricos de la capital nazarí. Advirtamos que la

intención declarada de las *Antigüedades* fue preservar la memoria de tan insignes y particulares monumentos. En 1766 el marqués de Grimaldi, secretario de Estado, encomendó a la Academia este proyecto con el que confiaba difundir «los magníficos edificios que cerca y lejos de la Corte publican la antigua perfección de la Arquitectura y demás Artes en España, dignos de que el buril los multiplique . . . ofreciendo a la consideración de las naciones extrañas una luz de nuestros antiguos monumentos de arquitectura, de que generalmente ni remota noticia tienen» (citado en Rodríguez Ruiz 1992, 84). Pero más allá de tan reveladoras iniciativas de la Academia, nuestro objetivo en estas líneas se centraría en la actividad de la llamada Comisión de Arquitectura, que se pronunció con un criterio innovador en las intervenciones que afectaban a los edificios históricos, pretendiendo su conservación y el mantenimiento de su aspecto originario.

Recordemos que la Comisión de Arquitectura se creó en 1786, a instancias de la Academia de San Fernando, para examinar y aprobar las construcciones de una cierta relevancia que se deseaban erigir en España. Desde 1777 en adelante el gobierno promulgó una serie de normas que pretendían centralizar el control de cualquier tipo de edificación en la Academia de San Fernando, exigiendo su aprobación previa para llevarlas a cabo. Lógicamente, las construcciones dependientes directamente del rey no estaban sujetas a esta supervisión de la Academia, pero aún así, desde 1777 llegaron a sus oficinas numerosos proyectos procedentes de toda la geografía del reino. De hecho, la Comisión, formada por los directores y tenientes de arquitectura de la Academia, surgió para evacuar con la mayor presteza posible el número cada vez mayor de trazas que arribaban a dicha institución para su examen.[3] Muchos de los proyectos remitidos eran de nueva planta, pero otros eran reparaciones de edificaciones antiguas, y entre éstos encontramos propuestas de intervenciones en edificios de gran relevancia histórica y monumental. Y repitamos que fue en estas ocasiones —o al menos en algunas de ellas— en las que la Comisión de Arquitectura manifestó una opinión de sumo interés por adoptar posturas renovadoras y de largo futuro en la restauración del patrimonio monumental.

Tal vez el caso más conocido sea el de la catedral burgalesa, bajo cuya sombra protectora, precisamente, se celebra este congreso. En la junta celebrada el 17 de diciembre de 1790, la Comisión de Arquitectura examinaba las trazas de las intervenciones ejecutadas por el arquitecto Fernando González de Lara y proyectadas junto al también académico Alfonso Regalado Rodríguez en la puerta de Santa María. La Comisión lamentó que una obra tan relevante y que afectaba a la fachada principal de la catedral no le hubiese sido consultada antes de llevarse a cabo. Pero más allá de reclamar su infringida autoridad, la Comisión criticó que la obra se hubiese realizado siguiendo el «estilo moderno», es decir, según el estilo clásico y no según el gótico. La Comisión propuso que se hermanase en la medida de lo posible la nueva obra clasicista con la original gótica, recomendando una serie de intervenciones, digamos que historicistas, que paliasen el desaguisado cometido. En la junta del 13 de mayo de 1791 se analizaron unas nuevas trazas de González de Lara en las que se recogían las sugerencias de la Comisión. Con algún que otro reparo, la Comisión aprobó este nuevo proyecto.[4]

Advirtamos que la puerta de Santa María de la catedral de Burgos, no fue la única obra ejecutada en una relevante edificación histórica que preocupó a la Comisión de Arquitectura. Así, cuando el Protector de la Academia le remitió unos planos firmados por el maestro Juan Bautista Duroni para una sala capitular que se había comenzado a construir en la capilla de San Clemente de la catedral de Córdoba, la Comisión, en junta celebrada el 30 de setiembre de 1807, los desaprobó. Se alegó que tal obra en nada se conforma con lo demás de la iglesia, cuya arquitectura árabe merece conservarse y que las obras que dicen relación con su fábrica y estructuras y se proyecten dentro del recinto de aquel raro y estimable edificio, correspondan con lo principal, o a lo menos no lo desfiguren como ya han hecho en otros tiempos con algunas obras construidas en él sin conocimientos ni atención al aprecio que merecen las antigüedades árabes en las naciones cultas.

Del mismo modo, algunos años antes, en 1799, cuando el Consejo de Castilla envió a la Academia de San Fernando unos planos del maestro Lesmes Gabilán para restaurar la iglesia de Santa Cruz de Medina de Rioseco, la Comisión propuso que un arquitecto aprobado por la Academia realizase un nuevo reconocimiento y diese nuevas trazas. Tal preocupación se debía a que la iglesia de Santa Cruz, edificada a finales del siglo XVI, era, según las propias palabras de la Comisión, «uno de las mejores

del reino, y cuya conservación debe interesar a la Academia, a la Ciudad y a toda la Nación». De hecho, la Comisión siguió de cerca las intervenciones realizadas en este edificio.[5]

Pero si bien la conservación e integridad de edificios históricos de tipo religioso preocupó a la Comisión de Arquitectura, no menos ocurrió con algunas insignes obras públicas e hidráulicas. El caso más revelador en este sentido sería, sin duda, el puente romano de Alcántara.[6] Efectivamente, en la junta del 16 de abril de 1803 la Comisión examinó un proyecto remitido por el Consejo de Castilla para reparar uno de los pilares del famoso puente que presentaba daños y roturas. Los diseños e informes correspondientes estaban formados por dos maestros locales, Ignacio Bueno y Diego Gutiérrez. La Comisión los consideró «muy diminutos y oscuros», juzgando que una obra de la importancia del puente de Alcántara no podía confiarse a tales maestros ni a las trazas que habían dado. Por ello recomendó, que a la «mayor brevedad», pasase por Alcántara un arquitecto aprobado para que emitiese un informe sobre lo que debía hacerse. La Comisión no dejó dudas de su posición: el puente de Alcántara «es del tiempo más feliz de las artes y de las mejores de España», por lo que no debía ni podía «informar debidamente sobre la reparación de la rotura ya expresada sin un reconocimiento ocular de todo». El 18 de mayo de 1803 el Consejo demandó a la Academia que nombrase a un arquitecto para realizar dicho reconocimiento «aprovechando la próxima favorable estación de verano». En la junta particular del 5 de junio de 1803 la Academia recomendó a Juan Agustín de Larramendi, «el cual es académico de merito por la arquitectura de esta Real Academia y además es también individuo de la Inspección General de Puentes y Caminos del Reino». No obstante, el 12 de junio del mismo año Larramendi se lamentaba de no poder desempeñar este encargo por estar ocupado en la construcción de la carretera entre Barcelona y Valencia.[7] La Academia nombró de manera inmediata al arquitecto Pedro Arnal, quien también renunció por sus muchas ocupaciones. Arnal propuso a los arquitectos académicos Juan Marcelino de Sagarvinaga y Diego de Ochoa para cumplir con este encargo. El primero, residente en Salamanca, porque era el arquitecto aprobado más cercano a Alcántara; Ochoa porque era uno de los arquitectos hidráulicos más respetados por la Academia, habiéndosele nombrado para numerosos encargos a lo largo y ancho del reino de Castilla. En agosto de 1803 el Consejo aprobaba tales nombramientos, si bien Ochoa no recibió la comunicación hasta finales de octubre de ese año. Por «haber principiado ya las lluvias de invierno» decidieron efectuar su reconocimiento durante el verano de 1804. Así lo hicieron, pero Ochoa falleció de vuelta de Alcántara y nunca llegó a enviar ningún informe al respecto a la Academia.[8] Sagarvinaga, en cambio, sí presentó unos diseños para la reparación del pilar que fueron aprobados por la Comisión en su junta del 4 de septiembre de 1805. Pocos días después, el 17 de septiembre, el Consejo elevaba una representación al rey en la que se le exponía que por falta de recursos todavía no se había podido emprender la reparación del puente de Alcántara. El síndico personero de Alcántara había comunicado al Consejo que los arbitrios que se habían dispuesto para recaudar el dinero para recomponer el paso resultaban demasiado gravosos para Alcántara y la región (recordemos que en esta época las obras públicas como los puentes se financiaban a cargo de los propios y los arbitrios de los pueblos interesados en su construcción a través de mecanismos no siempre claros ni justos para los afectados). El Consejo demandaba al rey otras fuentes de financiación, recordándole que cuando se le planteó esta restauración se comprometió a que «providenciaría cuanto conviniese para que una obra tan importante no se destruyese, antes bien se repusiese al mejor estado para constante recuerdo de lo que eran las bellas artes en la antigüedad, a que contribuiría el honor y aprecio que de la Real Munificencia se merecían, entendiendo al mismo tiempo a la utilidad que redundaba al público su conservación». El rey no supo determinar cuales eran tales fondos prometidos en su día. Lo único que ordenó fue que se sobreseyese la exacción de arbitrios que sufría Alcántara para la reparación de su puente, y que el Consejo de Castilla entregase las cantidades recaudadas a la Inspección General de Caminos. Que sepamos, dicha Inspección no intervino en el puente de Alcántara en los años inmediatamente siguientes.[9]

La maqueta del puente de Alcántara conservada en el Archivo Histórico Nacional (Objeto nº 4) y que ha sido tradicionalmente datada a principios del siglo XVIII (Fernández Casado 1980) o hacia 1816 (Corella 2000), resulta indudable que se corresponde a esta propuesta de restauración de 1803 (fig. 3). De hecho, junto a la documentación remitida para su

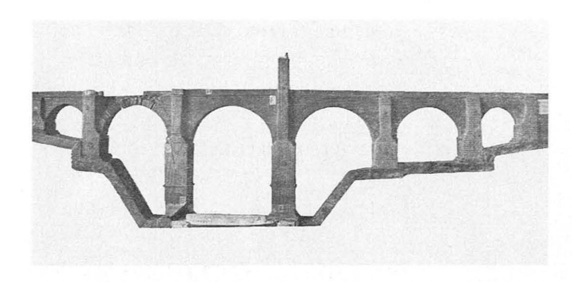


Figura 3
Maqueta del puente de Alcántara. Archivo Histórico Nacional, objeto nº 4

examen por el Consejo de Castilla a la Academia de San Fernando con fecha 30 de marzo de 1803 se citó «un diseño de madera metido en lata con *sobrecaja* de madera». En la junta celebrada el 1 de mayo, la Comisión declaró haber reconocido el citado «modelo del puente de Alcántara» remitido por el Consejo, y el estado ruinoso en que se halla el puente ante la «rotura y desfalco de fábrica en el pilar exterior de dicho puente». Por otra parte, el arquitecto Ochoa, en la carta que redactó el 20 de abril de 1804 como respuesta a su nombramiento para desempeñar tal obra, hizo referencia al «quebranto ocasionado en el pilar medio encajonado en la peña, a la orilla del río en sus más bajas aguas», lo cual no deja lugar a dudas de que se trata del mismo «quebranto» representado en la maqueta conservada en el Archivo Histórico Nacional. Las palabras de Ochoa fueron elocuentes: « . . . me parece que estoy viendo el socavo grande que la furiosa corriente del río ha hecho en la proa, costado y popa de la cepa, arrancando de cuajo gran porción de sillares de los primeros de sus cimientos que asentaban medio encajonados en la peña».

Lo cierto es que en toda la documentación referida a esta intervención, se señala el deterioro de una de las cepas del puente y la inminente necesidad de su reparación. La maqueta, no sólo es una representación a escala del estado en que se hallaba el puente en 1803, sino que destaca los daños ocasionados en el mismo y que tanto alarmaron a los alcantarinos. Así, en la referida maqueta se marcaron con las letras D y E las lesiones provocadas en la segunda pila de la margen derecha del río, descritas minuciosamente en la leyenda que la acompañaba, transcrita por Carlos Fernández Casado pero actualmente desaparecida.

Casi con toda probabilidad, estos daños se debieron a una avenida extraordinaria del río Tajo tal como indicó Ochoa en su carta, lo cual, junto a la continua erosión del terreno sobre el que apoyaba la cimentación del pilar, provocó el descalce y, consecuentemente, la desaparición de los sillares graníticos de la base aparejados en seco (letra E). Este daño se descubriría en una época de fuerte estiaje, permitiendo la observación directa del menoscabo de su base. La grieta vertical (letra D), que partía desde la imposta fue provocada por este descalce. No así las horizontales, también reproducidas en la maqueta, que seguramente se ocasionaron por la pérdida de masa del segundo arco de la margen derecha, lo que generó un desequilibrio de los empujes. Advirtamos, como veremos seguidamente, que este segundo arco fue parcialmente volado en 1648 por los portugueses en la Guerra de Restauración. Deducimos que fue la combinación de ambas acciones, la violencia de las aguas y el desmoche del arco, la que supuso la amenaza de ruina que se denunció a principios de 1803 (fig. 4).

Pero a pesar de la gravedad de la situación, nada se hizo al respecto. De hecho, el problema del citado pilar fue detectado por el ingeniero Alejandro Millán durante la restauración del puente llevada a cabo entre 1856 y 1860. Millán, ayudándose de buzos y marineros, «rodeó la cepa con escombros, logrando que la nueva obra quedase a cubierto del contenido impulso de la corriente» (Rodríguez Pulgar 1992, 104). Sin embargo, este reparo no fue ni mucho menos definitivo. Ya en el siglo XX, en septiembre de 1969, cuando el lecho del río quedó seco por la construcción de la desafortunadamente ubicada presa de Alcántara, se descubrió de nuevo el descalce, siendo reparado de modo invasivo con hormigón armado (fig. 5).[10]

La relación del puente de Alcántara con la Academia de San Fernando en los años de la Ilustración no acabó en 1805. Y tal reencuentro no fue por otro motivo que por los consabidos desastres de la guerra. Durante la Guerra de la Independencia, en 1809 según Juan Agustín Ceán Bermúdez, las tropas británicas volaron el segundo arco de la ribera derecha del puente, justo aquel que ya en 1648, en la Guerra de Restauración de Portugal, fue dinamitado por el ejército portugués aunque con relativo éxito, si bien provocó los ya citados daños en la pila. Al poco de pasada la guerra, en diciembre de 1815, el secretario de la Sociedad Económica de Amigos del País de Alcánta-

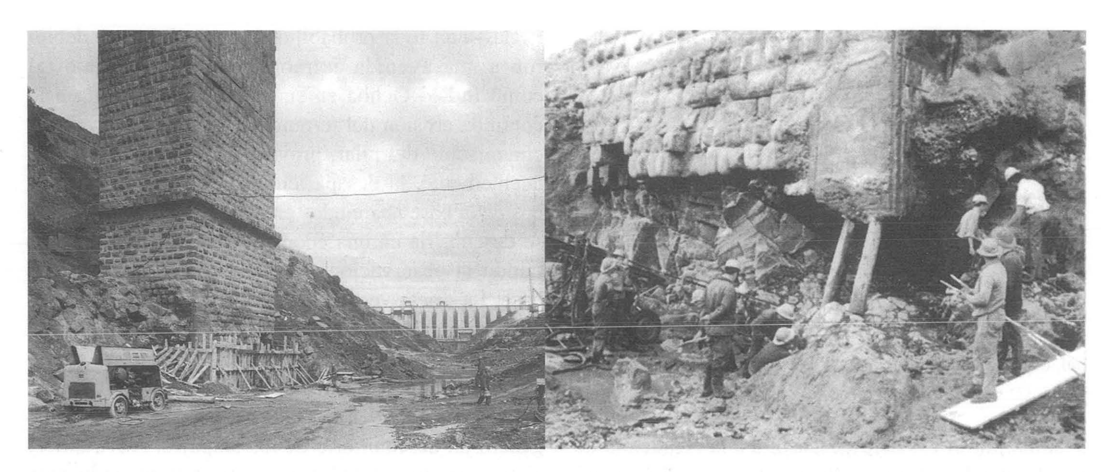


Figura 4
Diseño de las lesiones en la segunda pila de la margen derecha a partir de la maqueta del Archivo Histórico Nacional

ra y su Gobernador Político y Militar escribían al rey solicitando su permiso para reparar, mediante donaciones voluntarias, el arco del puente que había sido volado. Siguiendo el conducto ordinario, el rey pasó esta petición al Consejo de Castilla, quien resolvió el 7 de mayo de 1816 que dicha iniciativa era laudable,

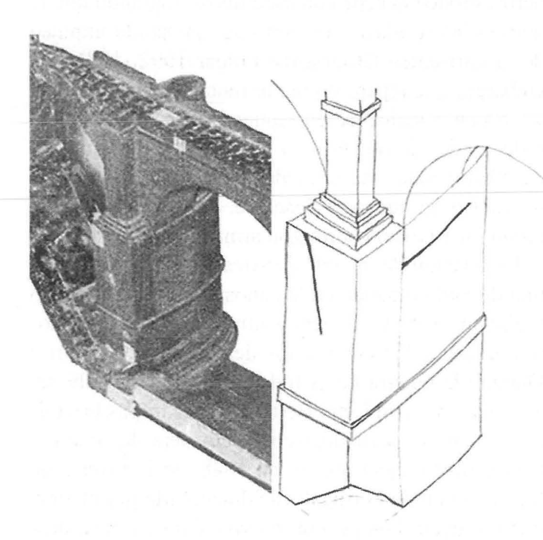


Figura 5
Estado de la cimentación de la segunda pila de la margen derecha cuando se secó el cauce del río Tajo en 1969

aconsejando que «se disponga y se dirija en la parte facultativa por arquitecto de la Real Academia de San Fernando, quien deberá formar y levantar el plano correspondiente». Unos meses después, el 18 de julio de 1816, el secretario de la Sociedad Económica de Alcántara escribía al Consejo comunicándole que no se habían logrado reunir suficientes fondos «para costear el levantamiento del plano de un arquitecto de la Academia de San Fernando». Como «sólo se trató de una habilitación para pasar por el puente y no de su reedificación con la hermosura y solidez que antes tenía», la Sociedad Económica decidió encargar el proyecto a «maestro de alguna opinión en este país». Tal maestro fue Carlos Feisto de Gundín, quien dio unas trazas en las que proponía recomponer este tramo del puente a partir de la edificación «de un pilar de ocho varas y de la altura correspondiente del que han de salir dos aras con aristones de cantería labrada, y lo restante del casco de cal y ladrillo, cuyo coste según ha calculado dicho maestro aprovechando la cantería de la ruina y otra de un edificio antiguo deteriorado, podría ascender a 320.000 reales». El secretario también informó al Consejo sobre las gestiones recaudatorias que se habían realizado hasta la fecha: la villa de Alcántara se había comprometido a donar 68.000 reales, en los que se incluían los 20.000 que los miembros de la Sociedad Económica ofrecían. Todavía no habían recibido respuesta de los pueblos vecinos, de los propietarios fo-

ráneos de tierras en esta jurisdicción y de los ganaderos trashumantes. Como apoyo a esta carta, el Gobernador Político y Militar de Alcántara envió una misiva al Consejo, el 31 de julio de 1816, en la que instaba a que se iniciasen las obras ya que una vez principiadas, serían más los que se animarían a donar recursos para su consecución. Tras el análisis de ambas solicitudes, el Consejo de Castilla decidió, en septiembre de 1816, enviar las trazas y el informe dado por Gundín a la Academia de San Fernando para su examen. No lo remitió hasta el mes de febrero de 1817. En la junta de la Comisión de Arquitectura celebrada el 29 de abril de ese mismo año se reprobó el proyecto de Gundín por lo elevado de su presupuesto, porque su propuesta «impediría el desahogado curso de las aguas» y, subrayémoslo, porque «imperfecciona la magnificencia del edificio». Según la Comisión, con el dinero presupuestado por Gundín se podría reedificar el arco «como se hallaba en su primitiva fundación por existir las cepas y muros que han de sostenerle», no debiendo elevar una doble arcada de ladrillo completamente disforme con el aspecto originario del puente. Para ello, proponía como era su costumbre, que un arquitecto académico reconociese la obra y elaborase un proyecto digno, «como lo requiere la conservación de uno de los más celebrados monumentos de la antigüedad y de las nobles artes en España», evitando así «el abandono que podría resultar de imperfeccionar una obra tan celebrada de nacionales y extranjeros».

Visto tan contundente informe, el Consejo de Castilla, que solió aceptar los juicios facultativos emitidos por la Academia, decidió el 1 de julio de 1817 que se nombrase a un arquitecto aprobado que se trasladase a Alcántara para ejecutar las trazas para la reparación de su puente. Asimismo, el Consejo ordenaba al Gobernador de dicha población que «sin tocar la obra material en lo más mínimo, habilite su tránsito provisionalmente». El 21 de agosto de 1817 la Academia, consciente de la importancia del encargo, nombraba para su evacuación al Director General de la propia Academia y Arquitecto Mayor de Madrid, Antonio López Aguado, quien llevaría consigo al arquitecto académico Bernardo Badía para que le ayudase y se encargase de la ejecución de la obra si Aguado no pudiese hacerse cargo por sus muchas ocupaciones en la corte. Tras este nombramiento se iniciaron complejos trámites para encontrar los recursos suficientes para costear el viaje de Aguado y Badía de Madrid a Alcántara. Complejos e infructuosos ya que finalmente ni Aguado ni Badía pasaron jamás a la población extremeña. Paralelamente, las autoridades de Alcántara se pusieron manos a la obra para habilitar el puente con una estructura de madera. Lo hicieron con cierta presteza, ya que el 28 de mayo de 1819 el Corregidor de Alcántara y su Sociedad Económica enviaban a la corte los informes y un plano firmado por Lorenzo Álvarez de Benavides de la obra realizada (fig. 6). El Fiscal del Consejo de Castila examinó toda esta documentación y el 24 de noviembre de 1819, manifestó sus dudas acerca de cómo se habían financiado estas obras, proponiendo que se le enviasen estados de cuentas más detallados y que «persona facultativa» examinase la obra realizada y determinase las que deberían hacerse para componer el puente de manera definitiva. El 8 de febrero de 1820, el Consejo ordenó al Intendente de Extremadura que nombrase a «arquitecto aprobado» para realizar lo sugerido por el Fiscal. Los desestabilizadores acontecimientos políticos de 1820, la caída del gobierno absolutista de Fernando

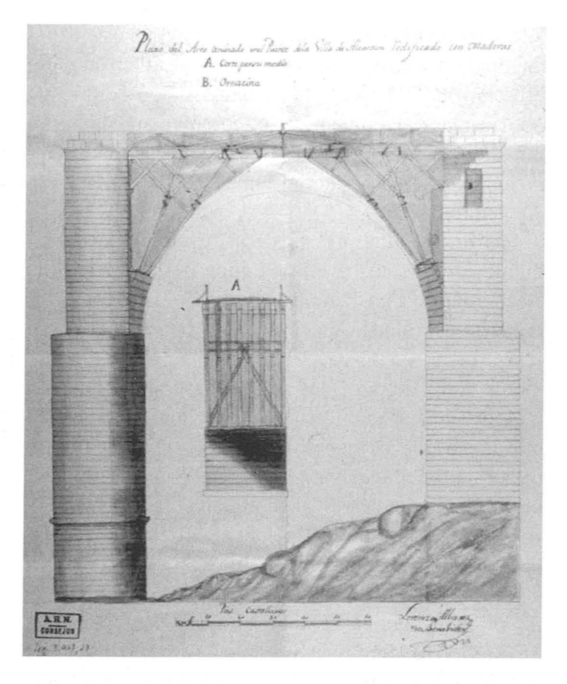


Figura 6
Lorenzo Álvarez Benavides. Plano del arco arruinado del puente de Alcántara reedificado con maderas. 1819

VII y el cambio de régimen supusieron que este expediente, como tantos otros similares, se interrumpiese bruscamente.[11] La definitiva composición del puente de Alcántara tuvo que esperar, como ya apuntamos, a mitad del siglo XIX, cuando se llevó a cabo la restauración, plenamente historicista, ideada por el ingeniero Alejandro Millán.

Las líneas anteriores nos han revelado elocuentemente, que en los primeros años del siglo XIX la Academia de San Fernando defendió de manera rotunda la necesidad de conservar el puente de Alcántara no sólo como paso, sino también como monumento «del tiempo más feliz de las artes y de las mejores de España», promoviendo una restauración que no lo desvirtuase o «imperfeccionase». Pero si bien esta preocupación por la conservación íntegra y original del puente ya había sido expresada con anterioridad —pensemos en palabras cercanas como las del ingeniero militar Diego Bordick en 1751 (Cruz 2002–2003) o en más lejanas como las de Bartolomé de Villavicencio en 1586 (Biblioteca Nacional, Mss. 887)— lo relevante y la diferencia respecto al pasado próximo o más remoto es que ya entre finales del siglo XVIII y principios del XIX se estaba consolidando una definición moderna del patrimonio monumental histórico. Tal fue el marco donde se manifestaron los juicios de la Academia sobre el puente de Alcántara. Alrededor de dicha definición se vertebró una incipiente teoría sobre la naturaleza y la función pública del patrimonio que no sólo motivó, como decíamos, su estudio histórico y su difusión, sino también su conservación, preludiando las posiciones que se desarrollarían a lo largo del siglo XIX. De hecho, el que fuera secretario de la Academia de San Fernando entre 1792 y 1807, Isidoro Bosarte, defendió en su *Viaje artístico a varios pueblos de España* (1804) que las intervenciones en edificios históricos debían realizarse siguiendo su estilo originario. Y aunque tan revolucionarias opiniones, Bosarte las expresó pensando en las actuaciones que debían realizarse en grandes edificaciones religiosas de estilo gótico como las catedrales, ya hemos comprobado como las obras ingenieriles también se incluyeron en esa nueva categoría de lo patrimonial que se estaba forjando en estas décadas. Al menos lo consiguieron algunas de ellas, aquellas que por su antigüedad, su fama y su espectacularidad resultaban más conocidas. Sabemos que a principios del siglo XIX se sucedieron diversas intervenciones y proyectos para proteger el acueducto de Segovia, pasando alguna de ellas por la Comisión de Arquitectura de la Academia de San Fernando. Precisamente, dicha Comisión, en su junta del 2 de enero de 1805, mostró su preocupación por la reparación del puente romano de Salamanca que se llevó a cabo en 1802, señalando lo importante que sería dilucidar si las obras realizadas eran suficientes para la habilitación de dicho paso y «para la conservación de un edificio que hace honor al reino y a los monarcas que desde Trajano hasta Nuestro Augusto lo han procurado ampliar y conservar como un monumento digno de su gloria». El académico Fernando Rodríguez presentó, en enero de 1806, un proyecto de reparación del puente romano de Aljucén que fue aprobado por Comisión de la Academia el 26 de febrero de 1807. Advirtamos que Rodríguez planteó una recomposición de dicho puente «siempre con el esmero de la imitación antigua».[12]

A pesar de estos testimonios, lo cierto es que debería transcurrir algo más de tiempo para que el concepto de patrimonio monumental se ampliase por lo que respecta a las obras públicas. De hecho, aquéllas que despertaron una inquietud conservacionista fueron edificadas en época romana, no siendo casual que en estas fechas se sucediesen medidas de protección de las antigüedades que, por supuesto, influyeron en los problemas aquí tratados.[13] Resulta revelador que cuando se planteó el arreglo del soberbio puente medieval de Hospital de Órbigo, el arquitecto académico Alfonso Regalado Rodríguez presentó un proyecto que proponía la edificación de uno de nueva planta y la eliminación del antiguo, que fue aprobado por la Comisión de Arquitectura en 1788.[14] Podríamos poner otros muchos ejemplos similares de intervenciones tan poco respetuosas en puentes medievales, modernos e incluso romanos menos famosos. Todo ello nos indica que si bien el momento ilustrado significó la apertura de una nueva época para el patrimonio monumental, muchas cosas iban a cambiar en las décadas siguientes, sobre todo para las obras públicas.

NOTAS

Desearíamos mostrar nuestro agradecimiento a la dirección del C.E.H.O.P.U. y a la del Archivo Histórico Nacional por las facilidades que nos concedieron para elaborar este estudio.

1. Las palabras de Ponz no eran del todo acertadas ya que el ingeniero militar Miguel Sánchez Taramas ofreció en 1769, en su traducción del *Tratado de Fortificación* de John Muller, un grabado del puente de Alcántara (fig. 2) que le facilitó el subteniente de ingenieros Pedro Navas gracias a la mediación del coronel Pedro Bordan (Muller 1769, 2: 62–68).
2. Para las aportaciones de Antonio Ponz y de su *Viaje de España* a este y otros aspectos de la Ilustración española: Crespo (2006).
3. La Comisión de Arquitectura ha sido estudiada por García Melero (1991 y 1996). También encontramos referencias de interés a la Comisión en el ya clásico estudio sobre la Academia de San Fernando de Madrid entre 1744 y 1808 de Bédat (1989).
4. Las obras realizadas en la puerta de Santa María de la catedral de Burgos durante el siglo XVIII han sido analizadas con detalle por Nieto (1999). Asimismo, José Enrique García Melero ha estudiado la problemática que en torno a las intervenciones en las catedrales góticas españolas se produjo durante la época de la Ilustración: García Melero (1989a, 1989b, 2001). Los juicios de la Comisión de Arquitectura de la Academia sobre las obras de la catedral de Burgos se encuentran en: Archivo de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Juntas de la Comisión de Arquitectura de la Real Academia de San Fernando desde su fundación en 22 de marzo de 1786 hasta fines de 1805, Sign. 3–139, f. 153 r. y 162 r.
5. Dicho seguimiento se manifestó en las juntas académicas de 27 de junio de 1799, 17 de mayo de 1800, 5 de junio de 1801 y 16 de abril de 1803: ARABASF, Juntas de la Comisión de Arquitectura de la Real Academia de San Fernando desde su fundación en 22 de marzo de 1786 hasta fines de 1805. Sign. 3–139, f. 312 v., 324 r., 338 v. y 357 v.
6. Han tratado sobre las restauraciones acometidas en este puente: Fernández Casado (1980), Sánchez Lomba (1984), Rodríguez Pulgar (1992), Liz (1998), Corella (2000), Cruz (2002–2003), Cadiñanos (2003).
7. Del ingeniero Larramendi contamos con una interesante biografía elaborada por Domínguez y Saénz (1999).
8. Sobre Ochoa y su fallecimiento tras el reconocimiento del puente de Alcántara, ver Fernández Vázquez (1999).
9. Toda la información documental sobre el puente de Alcántara entre 1803 y 1805 en: AHN, Consejos, Leg. 6064–157; ARABASF, Juntas de la Comisión de Arquitectura de la Real Academia de San Fernando desde su fundación en 22 de marzo de 1786 hasta fines de 1805. Sign. 3–139, f. 357 r. y 400 v.; ARABASF, Arquitectura. Puentes. 1793–1820, Sign. 31–9/2.
10. Callejo (1970), Fernández Casado (1980), Fernández Troyano (2006).
11. AHN, Consejos, Leg. 3447–27; ARABASF, Juntas de la Comisión de Arquitectura de la Real Academia de San Fernando desde 1806 a 1823, Sign. 3/140, fol 112 v – fol. 115 r.; ARABASF, Arquitectura. Puentes. 1793–1820, Sign. 31–9/2.
12. AHN, Consejos, Leg. 2429–32; Cadiñanos (2002).
13. Han sido estudiadas por Canto (2001) y Almagro y Maier (2003).
14. Sobre la evolución y sinsabores de este puente han escrito Fernández, Abad y Chías (1996), Cadiñanos (2001).

Lista de referencias

Almagro Gorbea, Martín y Maier, Jorge. 2003. «La Real Academia de la Historia y la arqueología española en el siglo XVIII». En *Iluminismo e Ilustración. Le antichità e i loro protagonisti in Spagna e in Italia nel XVIII secolo*, 1–27. Roma: L'Erma di Bretschneider.

Bédat, Claude. 1989. *La Real Academia de Bellas Artes de San Fernando (1744–1808)*. Madrid: FUE, Real Academia de Bellas Artes de San Fernando.

Cadiñanos Bardeci, Inocencio. 2001. «Puentes de León II». *Tierras de León*, 13: 93–117.

Cadiñanos Bardeci, Inocencio. 2003. *Puentes de Extremadura*. Badajoz: Centro de Estudios Extremeños.

Callejo Serrano, Carlos. 1970. «El puente romano de Alcántara en seco». *Archivo Español de Arqueología*, 121–122: 213–217.

Canto, Alicia Mª. 2001. *La arqueología española en la época de Carlos IV y Godoy. Los dibujos de Mérida de Don Manuel de Villena Moziño 1791–1794*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

Corella Suárez, Pilar. 2000. «La restauración de los puentes romanos de Mérida y Alcántara durante los siglos XVIII y XIX». *Goya*, 277–8: 267–274.

Crespo Delgado, Daniel. 2006. *El Viaje de España (1772–1794) de Antonio Ponz*. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

Cruz Villalón, María. 2002–2003. «El puente de Alcántara en los siglos XVII y XVIII. Noticias sobre su estado y planteamiento de restauración». *Norba-Arte*, 22–23: 89–99.

Domínguez López, Carlos y Sáenz Ridruejo, Fernando. 1999. *José Agustín de Larramendi. Primer ingeniero de caminos, canales y puertos*. Bilbao: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos del País Vasco.

Fernández Casado, Carlos. 1980. *Historia del puente en España. Puentes romanos*. Madrid: IETCC.

Fernández Ordóñez, José A, Abad Balboa, Tomás y Chías Navarro, Pilar. 1996. *León. Catálogo de puentes anteriores a 1936*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, CEHOPU.

Fernández Troyano, Leonardo. 2006. «El Puente de Alcántara. Obra excepcional de ingeniería». En *El Puente de Alcántara. Cayo Julio Lacer*, 75–107. Madrid: Real Academia de Ingeniería.

Fernández Vázquez, Vicente. 1999. *Diego de Ochoa (1742–1805). Arquitecto y Académico de Mérito de San Fernando*. Ponferrada: Museo del Bierzo.

García Melero, José Enrique. 1989a. «Bases metodológicas para el estudio de las transformaciones arquitectónicas de las catedrales góticas». En *IV Jornadas de Arte: El arte en tiempos de Carlos III*, 126–135. Madrid: Alpuerto.

García Melero, José Enrique. 1989b. «Espiritualidad y estética: las transformaciones en los exteriores de las catedrales góticas españolas en el siglo XVIII». *Hispania Sacra*, 41: 603–639.

García Melero, José Enrique. 1991. «Arquitectura y burocracia: el proceso del proyecto en la Comisión de Arquitectura de la Academia (1786–1808)». *Espacio, Tiempo y Forma. Serie VII. Historia del Arte*, 4: 283–348.

García Melero, José Enrique. 1996. «Los puentes y la comisión de Arquitectura (1786–1808)». *Espacio, Tiempo y Forma. Serie VII. Historia del Arte*, 9: 11–45.

García Melero, José Enrique. 2001. *Las catedrales góticas en la España de la Ilustración. La incidencia del neoclasicismo en el gótico*. Madrid: Encuentro.

Liz Giral, Jesús. 1988. *El Puente de Alcántara: arqueología e historia*. Madrid: Fundación San Benito de Alcántara, CEHOPU.

Muller, John. 1769. *Tratado de Fortificación . . . traducido en castellano . . . y aumentado con notas, adiciones y 22 láminas finas por D. Miguel Sánchez Taramas*. 2 vols. Barcelona: Tomás Piferrer.

Nieto Plaza, Ana. 1999. La obra de la puerta de Santa María en la catedral de Burgos. *Boletín de la Institución Fernán González*, 219: 339–377.

Ponz, Antonio. 1772–1794. *Viaje de España*. 18 vols. Madrid: Imprenta de Joaquín Ibarra.

Rodríguez Pulgar, Carmen. 1992. *El puente de Alcántara: reconstrucción en el siglo XIX*, Cáceres: Institución Cultural El Brocense.

Rodríguez Ruiz, Delfín. 1992. *La memoria frágil. José de Hermosilla y las Antigüedades Árabes de España*. Madrid: COAM.

Sánchez Lomba, Francisco Manuel. 1984. «Observaciones sobre reformas en el puente romano de Alcántara». *Norba-Arte*, 4: 312–316.

Algunos aspectos básicos a considerar en la investigación de los esquemas de armado en estructuras de hormigón según la época de construcción

Eduardo Díaz-Pavón

Desde el empleo del hormigón armado como material en la construcción, los esquemas de disposición de las armaduras han evolucionado en función de las características de los aceros empleados, de los conocimientos adquiridos y los desarrollos normativos.

En la actualidad, la actuación sobre estructuras existentes, bien por motivos de patologías detectadas, bien por rehabilitaciones que deben llevarse a cabo, exige el conocimiento de la técnica empleada en el momento de la construcción de éstas, para así poder caracterizar de forma adecuada el comportamiento de las mismas.

El objeto de la comunicación propuesta es exponer, a partir de las numerosas investigaciones sobre estructuras existentes de hormigón armado llevadas a cabo por INTEMAC, las características del acero empleado en cada momento así como los esquemas de armado más habituales. De esta manera será posible, además, estimar la edad de la estructura a partir de los aspectos señalados.

Este recorrido histórico sobre las estructuras de hormigón armado comenzará analizando aquellas estructuras realizadas con barras de acero liso. La aparición de las primeras barras corrugadas supondría algunos cambios significativos en los esquemas de armado que igualmente serán analizados. La mejora de las características mecánicas del acero mediante el empleo de barras estiradas en frío entre las décadas de los años 50 y 70 implicaría nuevas modificaciones en las estructuras que evolucionarán progresivamente hacia los esquemas empleados hoy día con el acero corrugado de dureza natural.

Este análisis histórico del acero y sus esquemas de armado irá acompañado de una exposición de los aspectos más significativos que deben ser tenidos en cuenta en los forjados y vigas de cada una de las épocas, tanto desde el punto de vista de la durabilidad como de la seguridad.

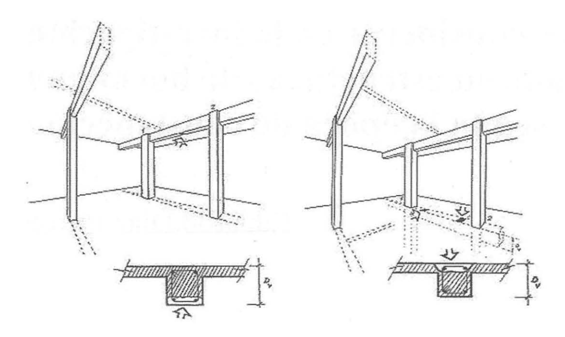
Lógicamente, en una comunicación de este tipo no puede realizarse una exposición detallada de los aspectos indicados, sino un resumen de algunos de los puntos más significativos a tener en cuenta.

Estructuras con acero liso

En la historia de la construcción con hormigón armado, las barras de acero liso (conocidas en diferentes épocas como barras de acero ordinario) fueron empleadas hasta que fueron cayendo en desuso en los años sesenta y setenta, aun cuando normativamente el uso de este tipo de armaduras ha quedado amparado por las diferentes instrucciones de hormigón armado hasta la EH-91.

Por lo tanto, cuando se vaya a intervenir en una estructura de hormigón armado, ya sea de edificación u obra civil, de la época o anterior a los años sesenta o primeros de los setenta, debemos prever que podamos encontrar este tipo de acero.

Para verificar que la estructura realmente ejecutada se corresponde con los planos de los que disponga-



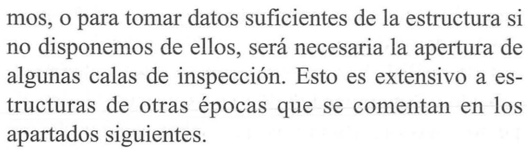


Figura 1
Ejemplos de localización de calas en secciones críticas (apoyos y centro de vano en este caso) en jácenas de hormigón armado

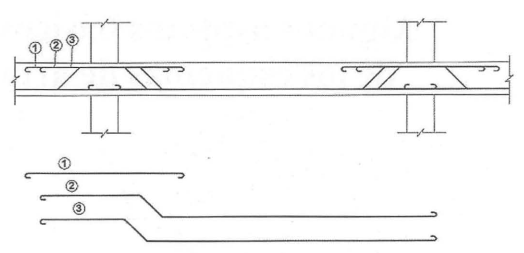


Figura 2
Despiece típico de la armadura longitudinal de una viga armada con redondos de acero liso

mos, o para tomar datos suficientes de la estructura si no disponemos de ellos, será necesaria la apertura de algunas calas de inspección. Esto es extensivo a estructuras de otras épocas que se comentan en los apartados siguientes.

Con carácter general, estas calas se realizan en secciones críticas (apoyos y centro de vano) para determinar los esquemas de armado, recubrimientos, etc. En la figura 1 mostramos un ejemplo de la localización de calas en vanos de viga y forjado. Es muy importante que las calas (tanto en este tipo de estructuras, como en las que comentaremos más adelante) sean realizadas bajo la supervisión de un Técnico especializado, para evitar que se pueda afectar a las condiciones de seguridad de la estructura.

A la hora de plantear la inspección de las calas, es necesario tener en cuenta las particularidades de los esquemas de armado que se empleaban en la época. Nos referiremos a estructuras sencillas de edificación, siendo muchos de los aspectos indicados extrapolables a otras estructuras, aunque pueden presentar mayor complejidad tal y como se señalará más adelante.

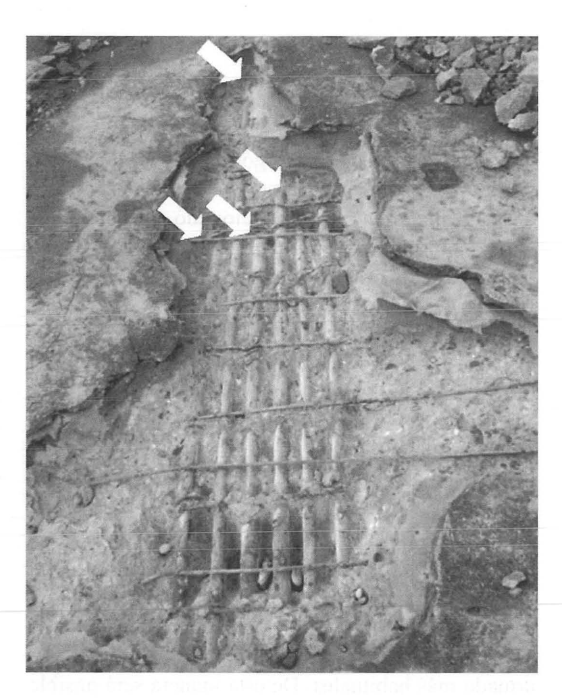


Figura 3
Ejemplo de cala practicada en apoyo de una jácena de hormigón armada con barras de acero liso. Se señalan algunos de los puntos de doblado de la armadura

Armadura longitudinal en vigas

Un primer aspecto básico a tener en cuenta es que las barras de acero liso disponían sistemáticamente de gancho en su extremo para así garantizar su anclaje (ver figura 2).

En la mayor parte de los casos, la armadura *positiva* de centro de vano se divide en dos familias: una parte de las barras, que llega hasta el apoyo, y otra que se incorpora a la armadura superior, para lo cual la barra era doblada a unos 45° en las cercanías del apoyo. En la figura 2 se muestra un despiece típico.

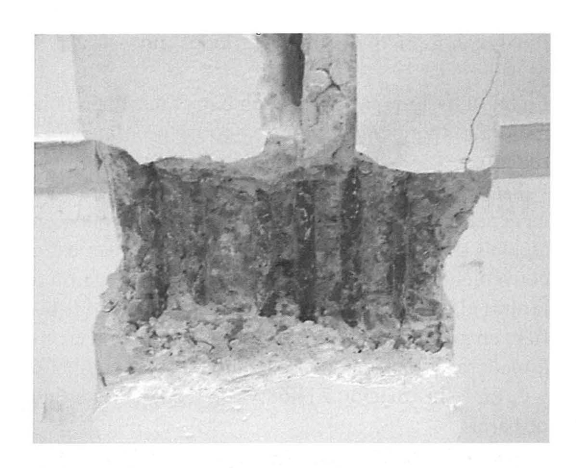


Figura 4
Ejemplo de una cala practicada en centro de vano de una jácena armada con barras de acero liso

En algunos casos, además, se realizaban cortes intermedios de la armadura inferior (sin llegar por tanto a los apoyos).

Teniendo en cuenta estos aspectos, las calas deben realizarse de manera que en centro de vano se detecte la cuantía y recubrimientos de la armadura positiva, para lo cual basta una roza de ancho (medido según la directriz de la viga) igual al mínimo suficiente para poder medir adecuadamente los diámetros de las barras.

En apoyo las calas deben extenderse más, siempre adoptando las adecuadas medidas de seguridad, para poder detectar los puntos de doblado de las barras. Debe evitarse el confundir puntos de doblado de barras, con extremos en gancho de las mismas, confusión que puede presentarse si no se descubre adecuadamente el punto donde dobla la barra. En las figuras 3 y 4 mostramos algunas calas practicadas en jácenas de este tipo.

En algunos casos será necesario el empleo de sonda magnética para replantear los puntos de corte y doblado de armaduras.

Armadura transversal en vigas

A parte de los estribos, análogos a los que se emplean comúnmente hoy en día, es muy frecuente que la armadura transversal esté constituida además por:

- La armadura longitudinal doblada cerca de los apoyos antes referida, y que proporciona una fracción importante de la resistencia a corte.
- horquillas, que abrazan una barra superior y otra inferior, en lugar de abrazar varias barras como hacen los estribos (en la cala que se muestra en la figura 3 se observan algunas horquillas).

Debe destacarse que en ciertas épocas, sobre todo al comienzo de la teconología del hormigón armado, era frecuente no disponer armadura transversal en vigas.

Armadura en soportes

Los esquemas de armado en soportes no difieren sustancialmente de los empleados hoy en día. Se disponían habitualmente barras en las esquinas, pudiendo existir además otras barras en las caras del pilar (la figura 5).



Figura 5
Cala practicada para descubrir la armadura de un pilar con barras de acero liso

Debe tenerse en cuenta que, en estructuras antiguas (en general anteriores a los años 40 ó 50), es posible encontrar soportes sin cercos.

Armaduras en losas y forjados

Vale, básicamente, lo indicado para las vigas. Debe tenerse en cuenta que en estos elementos es poco habitual encontrar armadura transversal.

En el caso de las losas, en muchas ocasiones se emplearon espesores muy reducidos (no es inusual encontrar losas de espesores inferiores a 10 cm). En estos casos debe prestarse atención a la posible caída de la armadura *negativa* (lo que se presenta con relativa frecuencia), ya que puede afectar de forma importante a la seguridad.

Un aspecto a tener en cuenta es que los recubrimientos, en muchas ocasiones, distan bastante de los criterios actuales. Así, es frecuente que la armadura positiva en vigas y nervios de forjado en centro de vano tengan recubrimientos muy reducidos e incluso prácticamente nulos, mientras que en apoyos la armadura negativa es posible que presente recubrimientos importantes. En pilares, es también frecuente que la armadura se encuentre desplazada dentro del hormigón, quedando barras con recubrimientos reducidos y las opuestas con recubrimientos amplios. Todo lo indicado es válido para las otras tipologías estructurales que se comentan más adelante, si bien el cuidado en la disposición de los recubrimientos es estadísticamente mejor en estructuras más recientes (aunque, desgraciadamente, esto no siempre es así).

En cuanto a las características mecánicas de estos aceros, debe tenerse en cuenta que el límite elástico de la armadura se sitúa muy por debajo de los valores actualmente en uso. En efecto, un valor de referencia a adoptar en las comprobaciones es $f_{yk} = 220$ N/mm². Es recomendable realizar ensayos, pues en general estas barras presentan un incremento en el límite elástico a medida que se reduce el diámetro. De hecho, algunas instrucciones consideraron diferente límite elástico según se tratase de barras de diámetro superior a 12 mm, para las cuales se especificaba el antes indicado, o inferior o igual a dicho diámetro, en cuyo caso se permitía considerar $f_{yk} = 240$ N/mm². Insistimos, en todo caso, en la conveniencia de realizar ensayos.

Las series de diámetros también pueden variar respecto de las empleadas actualmente. Además, a la hora de medir en obra los diámetros debe tenerse en cuenta que la sección transversal puede encontrarse ovalizada, como consecuencia de los procesos de fabricación, lo que puede dificultar la identificación del diámetro nominal.

Primeras barras de acero corrugado

En los años sesenta aparecieron barras de adherencia mejorada (conocidas entonces como de *alta adherencia*).

Estas barras presentaban corrugas (ver figura 6) y en general un límite elástico superior (360 N/mm≈ en algunas de las más comunes, aunque recordamos la conveniencia de realizar ensayos pues se llegaron a límites elásticos de hasta 460 N/mm²). La corruga difiere en general de la que hoy en día se presenta en las armaduras, como puede observarse en las figuras 6 y 7. En la Instrucción EH-68 ya se recogían este tipo de barras.

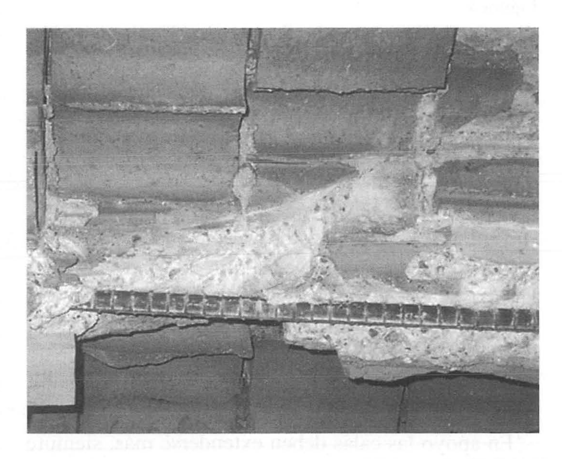


Figura 6
Barra de *alta adherencia* tipo *REA* detectada en una cala

Es importante no confundir estas barras con las de acero *estirado en frío*, que se comentan más adelante, y que aparecieron un poco después en el tiempo.

Los esquemas de armado conservaron en buena medida los que se empleaban con el *acero liso*. Por ejemplo, seguían empleándose con frecuencia doblados de barras y ganchos (figura 7).

El acero estirado en frío

Una importante mejora en las prestaciones de la armadura, posterior a la aparición de las barras de *alta adherencia* comentadas en el apartado anterior, se

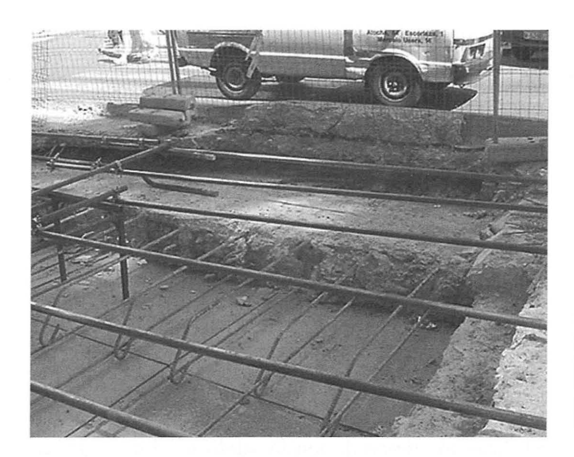


Figura 7
Barra de *alta adherencia* tipo *REA* detectada en una zona a reconstruir como consecuencia de los daños sufridos en el forjado. cómo la armadura presenta puntos de doblado y ganchos en extremo

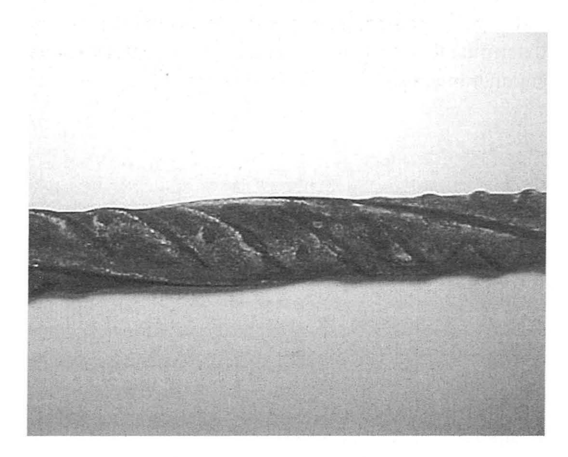


Figura 8
Véase el tipo de corruga de una armadura de acero estirado en frío

consiguió con el acero *estirado en frío*. Este tipo de acero se empleo de manera importante, desplazando a los otros tipos de acero referidos anteriormente, desde mediados y finales de los sesenta hasta primeros de los setenta, cuando empezó a sustituirse paulatinamente por los aceros corrugados de dureza natural.

La instrucción EH-72 ya recogía este tipo de aceros, cuyos límites elásticos podían ser de 420 N/mm^2



Figura 9
Cala practicada para descubrir la armadura negativa en apoyo de viga, en una estructura armada con barras de acero estirado en frío

o 500 N/mm^2. Se incluyeron en las diferentes revisiones de la Norma hasta la publicación de la EH-91. En la EHE ya no se recoge este tipo de acero.

De forma muy sucinta podemos indicar que la mejora en el límite elástico con estos aceros se conseguía, a parte de otros aspectos, mediante el retorcido en frío de la armadura. Así, estas barras son fácilmente identificables pues su corruga es helicoidal figura 8), mientras que en otros aceros de dureza natural la corruga no presenta ese paso de hélice. Las barras tenían marca de identificación del fabricante, como puede observarse en la misma figura 8.

Aunque en las primeras etapas de fabricación de este tipo de aceros se mantuvieron los esquemas de armado típicos empleados con los aceros precedentes, poco a poco fueron abandonándose el gancho (esto, desde las primeras etapas) y el doblado de barras desde la cara inferior a la superior, hasta emplearse esquemas de armado análogos a los empleados hoy en día figuras 9, 10 y 11). Las particularidades a tener en cuenta respecto a los aceros de dureza natural comunes hoy en día son las siguientes:

Series de diámetros

Para facilitar el cambio de la armadura en Proyectos en los que se especificaban barras de acero *liso*, se



Figura 10
Cala practicada para descubrir la armadura positiva en centro de vano de un forjado reticular, en una estructura armada con barras de acero estirado en frío



Figura 11
Cala practicada para descubrir la armadura de un pilar, en una estructura armada con barras de acero estirado en frío

comercializaron diámetros de capacidad mecánica equivalente. Así, por ejemplo, una serie de armaduras de la firma TETRACERO era la siguiente (en mm): 6, 7.5, 9, 10.5, 12, 13.5, 15, 16.5, 18.5, 21 y 22.5. Otras series, sin embargo, sí son análogas a las actuales. Todo ello, unido a la dificultad práctica que entraña medir el diámetro de la caña de armadura con calibre, dada la geometría helicoidal de la corruga, ha llevado en muchos casos a errores en la identificación en obra del diámetro de la armadura.

Diagrama tensión-deformación

El diagrama típico de tensión-deformación en aceros de este tipo es el que se muestra en la figura 12. Como puede observarse en comparación con los diagramas tensión-deformación de los aceros de dureza natural que se muestran en la misma figura, para deformaciones por encima de las correspondientes al límite elástico la tensión del acero crece, lo que puede se considerado en las comprobaciones de seguridad ya que en determinados elementos y para ciertas cuantías, puede suponer una reserva adicional de seguridad.

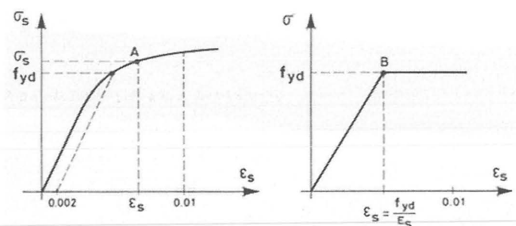
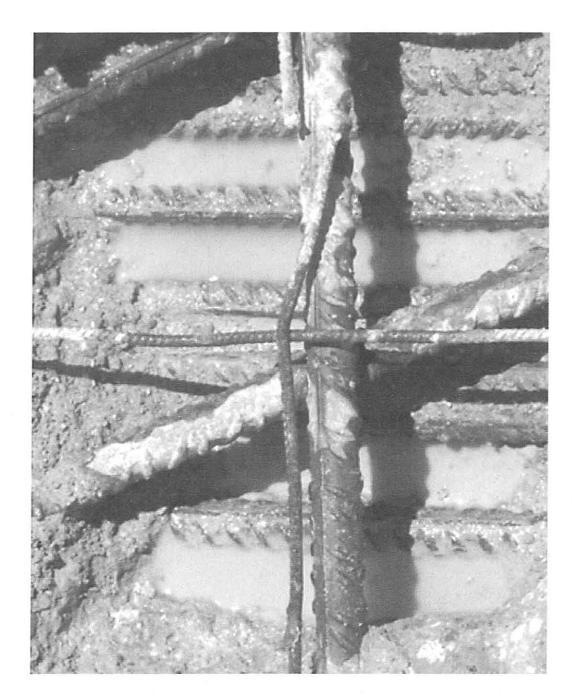


Figura 12
Diagramas simplificados típicos de tensión-deformación en aceros estirados en frío y de dureza natural. a) Estirado en frío. b) Dureza natural

Resistencia al fuego

Los tratamientos por los cuales este acero mejoraba el límite elástico los hacen muy sensibles a la acción del fuego. En efecto, ante las altas temperaturas que se alcanzan en un incendio, el límite elástico del acero se reduce en gran medida (pudiendo reducirse a órdenes del límite elástico que presenta la armadura de



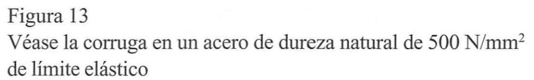


Figura 13
Véase la corruga en un acero de dureza natural de 500 N/mm^2 de límite elástico



Figura 14
Véase la corruga en un acero de dureza natural de 500 N/mm^2 de límite elástico

acero *liso*). Este es un aspecto importante a la hora de analizar la situación frente a fuego de este tipo de estructuras.

Aceros de dureza natural

Son los aceros empleados en la actualidad, por lo que no insistiremos en los detalles de armado. Únicamente destacaremos, entre otras, las siguientes diferencias con los aceros de épocas anteriores:

- La ferralla ha sido progresivamente industrializada, hasta llegar en la actualidad a un alto grado de industrialización. Por ejemplo, es común que hoy en día se empleen jaulas de armadura confeccionadas en taller, que se colocan en pilares, vigas, pilotes, etc., disponiéndose en obra únicamente los refuerzos. Al comienzo de estas técnicas se disponía la armadura de refuerzo frente a momentos negativos por encima de las jaulas de armado en algunos casos, lo que puede afectar a las condiciones de seguridad. De hecho, hoy en día este error se comete en ocasiones.
- Los tipos de acero más comúnmente empleados son los de 400 n/mm^2 y 500 N/mm^2, cuyas corrugas en general son fácilmente identificables como se muestra en las figuras 13 y 14.
- Es frecuente el empleo de soldaduras para solapes de barras, anclajes de armaduras mediante barras transversales soldadas, etc.
- También es de uso extendido el empleo de mallas de armadura electrosoldadas.
- Las exigencias normativas relativas a la durabilidad y el fuego han ido imponiendo recubrimientos cada vez mayores. Para ello se emplean en obra separadores de diferentes tipos.

La utilidad de antiguos conocimientos constructivos en las obras de restauración de puentes históricos

Manuel Durán Fuentes

La utilización en la restauración de antiguos puentes de fábrica de materiales y procedimientos constructivos diferentes a los empleados originalmente, ha provocado que los conocimientos acumulados a lo largo de muchos siglos se fueran olvidando y también que desapareciera la maestría con la que los diversos operarios trabajaban los antiguos materiales. Estas circunstancias generan trastornos y en ocasiones, intervenciones incorrectas, que tienen que suplirse con el esfuerzo, dedicación y en ocasiones con pruebas y ensayos previos, de técnicos y constructores, para conseguir una correcta actuación. Por ello creemos que es muy interesante que tanto en la fase de proyecto de una restauración de un puente antiguo como posteriormente en la ejecución de las obras, se tengan en cuenta conocimientos y experiencias que sobre las obras de los puentes se han publicado desde Gautier, a principios del XVIII, hasta los años treinta del pasado siglo XX.

En el caso concreto de las bóvedas de los puentes creemos necesario que el profesional que intervenga en su restauración comprenda el funcionamiento de las estructuras de fábrica —que como dice Heyman es un conjunto de piedras a hueso, unas encima de otras, formando una estructura estable bajo la simple acción de la gravedad— analice correctamente el estado de conservación —si una fábrica posee grietas pero no deformaciones «vivas», esta estructura es segura—, y sepa como intervenir en ellas, manteniendo sus capacidades de adaptación a las variaciones de carga y de contorno sin que experimente alteración su forma de trabajo (Heyman 1995). Es una cuestión que consideramos muy importante ya que todavía se pueden ver soluciones constructivas incorrectas que son llevadas a la práctica, como la de reforzar una bóveda de fábrica con una rosca de hormigón armado.

Es muy interesante la labor que se está llevando a cabo con la publicación de trabajos de ilustres técnicos y las labores divulgativas de los congresos específicos que tratan, entre otras cuestiones, de poner al día los antiguos conocimientos y de justificar con nuevos planteamientos teóricos —como la teoría moderna del Análisis Límite— los antiguos procedimientos de diseño, cálculo y de ejecución. En España esta siendo muy importante la aportación teórica que sobre estos temas han desarrollado diversos organismos e instituciones, que ha contribuido notablemente a incrementar el conocimiento sobre las antiguas obras de fábrica. Destacamos la publicación de la obra del profesor Heyman —traducidos por Santiago Huerta y Gema M. López Manzanares— que ayuda a superar desconocimientos, inseguridades y a abandonar algunos procedimientos perjudiciales y abordar con mayor confianza el proyecto y la ejecución de las obras de restauración de las bóvedas de fábrica.

En este trabajo nos hemos limitado a exponer brevemente algunos de los antiguos conocimientos constructivos que nos han sido útiles para abordar y solucionar determinadas cuestiones tanto en la fase de proyecto como en la de ejecución de las obras de restauración de algunos puentes históricos de Galicia, y más concretamente en la reparación y refuerzo de sus

La construcción de una bóveda de fábrica de un puente

El ingeniero Perronet (2005, 199 y ss.) estableció que las tres cuestiones más importantes en la construcción de los grandes arcos de los puentes, son la elección de la piedra, la tipología de la cimbra y la forma de descimbrar y desmontar esta estructura de modo que el descenso del arco sea despreciable y que conserve su forma. Esta última cuestión es la que más ha preocupado a los constructores de puentes de todas las épocas, incluso en la actualidad. La conservación de la forma es lo fundamental para que el arco trabaje del modo y con la seguridad que se ha planteado a nivel de proyecto.

La elección de la piedra

Son vigentes algunas de las cuestiones que planteaba con respecto a la elección de la piedra pues sigue siendo recomendable elegir la piedra más dura que pueda encontrarse en la zona y que tenga una determinada resistencia a la rotura con la que se pueda satisfacer con la tensión máxima de trabajo un coeficiente de seguridad de 10, como ya hemos comentado. Ha de ser uniforme, que no tenga vetas ni zonas blandas, y a ser posible deberá haber pedido el agua de la cantera y haberse ensayado previamente su resistencia a las heladas. Perronet también recomienda hacer rehundidos en los bordes de las dovelas para evitar que el paso de la línea de empujes muy cerca de ellos produzca su desportillado; si se emplea mortero en la junta se consigue el mismo resultado si se deja sin relleno el final de la junta, rellenándolo con estopa para evitar que salga el mortero.

Cálculo y construcción de la cimbra

Habitualmente en los tratados antiguos los capítulos destinados a los tipos, cálculo y construcción de las cimbras son bastante extensos y detallados al tratarse de unos medios auxiliares muy importantes en la construcción de un puente. Además de tener que soportar el peso de las dovelas según se va construyendo la bóveda deberá servir de plantilla fija y lo indeformable posible para que finalmente resulte con la forma deseada. Por lo tanto habrá de calcularse para cumplir estos requisitos, para lo cual Perronet recomienda que se peralte ligeramente (del orden de 1/60 de la luz) en función de lo que se espera que descienda la cimbra por el peso de las dovelas, pues la mitad o los dos tercios de este descenso se producirá antes de poner la clave y el resto como resultado de la comprensión del mortero de las juntas. Cuando más proporción de cemento lleve el mortero bastardo de cal y cemento, menor es el asiento de la junta y también lo será si el tiempo entre su colocación y el descimbrado es el mayor posible.

En general consta de un entablado que es la plantilla de la bóveda y las cerchas o formas en arco dispuestas en planos verticales, colocadas a una distancia entre sí —normalmente entre 1 y 2 m— que recogen las cargas que se transmiten por los apuntalamientos a los sistemas de apoyo preparados para el descimbrado y a través de éstos al terreno. Antes del siglo XX todos estos elementos eran de madera, pero posteriormente se incrementó la utilización de puntales y cerchas metálicas reduciendo la madera a los entablados. Hoy los arcos se pueden cimbrar de una manera muy simple con estructuras o andamiajes metálicos estandarizadas que permiten una gran variedad de tipologías y posibilidades. El molde de la bóveda se realiza como antiguamente con madera con un entablado clavado a las correas apoyadas en los camones o pares secundarios arqueados, recogidos por las barras del andamiaje espacial.

Para el cálculo de las cimbras nos ha sido de utilidad la definición de las cargas que gravitan sobre ella a medida que se van colocando las dovelas, establecida en algunos de los tratados que hemos incluido en la bibliografía básica. Para evaluar estas cargas habrá que tener en cuenta los rozamientos entre las dovelas teniendo en cuenta si las juntas se harán con mortero o en seco, y entre las dovelas y la cimbra. También habrá que decidir sobre sus valores pues varían según los tipos de morteros y fábricas, acotando M. Séjourné el valor máximo del ángulo de rozamiento de las dovelas de piedra sobre el mortero fresco en 25°, y sobre la cimbra en 44°. Estos dos ángulos marcan el tramo de la cimbra en el que la carga se incrementa desde 0 a 22° de la horizontal hasta el peso total de las dovelas a partir de los 44°. En este espacio intermedio el rozamiento entre dovelas y las reacciones que producen disminuyen un poco la presión sobre la cimbra (Gay 1924, 525–526).

Para la comodidad del cálculo es más útil considerar la presión normal a la directriz de la rosca (presión según el radio en un arco de medio punto). No se podrá obtener una fórmula única y general de esta presión ya que ésta varía con el avance de la colocación de las dovelas, tal como ya planteó Gauthey (1843, II, 13 y ss). Solo se necesitará una fórmula práctica obtenida para la situación más desfavorable. Gay plantea las fórmulas de Séjourné, que ha sido muy utilizada sin contratiempos. Este ingeniero francés aporta, gracias a sus numerosos ensayos, los ángulos de rozamiento necesarios en este cálculo: el primero es el que hay entre la piedra y la cimbra de madera, que varia entre 25° a 44°, con un valor medio de 36,5°; el segundo entre el mortero de las juntas y las dovelas de piedra varía mucho, entre 25° y 90°, con un valor medio de 37° y nunca menor de 22,5° (Degrand y Resal 1888, 548 y ss.). También habría que tener en cuenta el ángulo de rozamiento existente entre dovelas de piedra para el caso de su ejecución en seco, sin mortero, cuyo valor medio más habitual está en el entorno de 35 °.

A la vista de estos valores ya se perciben tres zonas de la cimbra diferentes, delimitadas por cuatro puntos del semiarco, definidos por el ángulo á formado por su radio y la vertical que pasa por el centro: entre 90 y 77,5°; la segunda entre este punto y 45° y la tercera entre 45° y la clave. En estas tres zonas, las dovelas presionan a la cimbra con intensidad variable. Sus valores fueron establecidos por Séjourné y reproducidos por casi todos los autores consultados, con ligeras variantes.

Séjourné nos da una fórmula única que expresa la presión unitaria P (ancho unidad) de la rosca siguiendo el radio de curvatura del intradós en cada punto que es recogida por los elementos también radiales de la cimbra, válida para todo el semiarco:

$$\text{Zona } (90 > \alpha > 0°)\text{: } P = w\,(\cos 4\alpha/3)^{1/2},$$

siendo w el peso unitario de la rosca en cada punto.

El ingeniero Gay da otras expresiones para las cargas normales y radiales a la cimbra en las tres zonas mencionadas:

$$\text{Zona 1 } (90 > \alpha > 67{,}5°)\text{: } P = 0$$

$$\text{Zona 2 } (67{,}5 > \alpha > 45°)\text{: } P = w\,(\cos 4\alpha/3)^{1/2}$$

$$\text{Zona 3 } (45 > \alpha > 0°)\text{: } P = w \cos \alpha$$

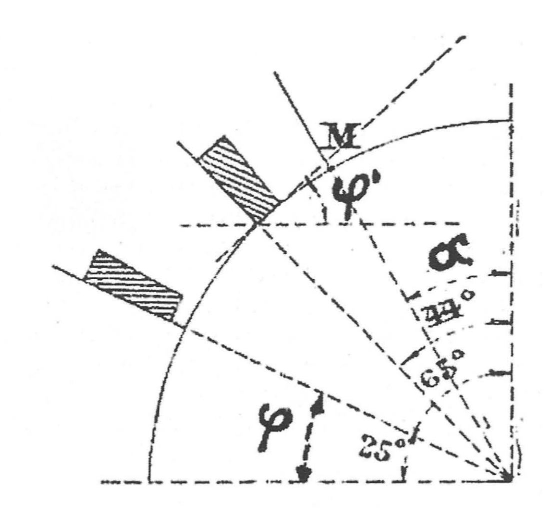


Figura 3
Esquema de los diversos ángulos considerados en la definición de las cargas sobre una cimbra (Gay 1924)

Résal hizo el estudio más completo para las presiones de las distintas zonas, sobre todo en la parte baja donde considera que debe tenerse en cuenta algo de carga para que la cimbra sea algo más que un molde y resista la presión debida al mazo del operario para ajustar la dovela a la forma exacta de la cimbra. Trata de encontrar, a falta de valores precisos, los límites máximos y mínimos de la carga sobre la cimbra. En sus razonamientos analíticos tiene en cuenta el rozamiento entre la cimbra y el dovelaje (φ) y entre las dovelas entre sí (φ'), y divide el peso en dos partes, una que presiona la cimbra y otra que carga sobre la dovela inferior.

a) El valor máximo de la carga sobre la cimbra, para un ancho unidad, la obtiene considerando solo la parte del peso que carga sobre la cimbra sin tener en cuenta la parte que carga sobre las dovelas inferiores:

$$P = w \operatorname{cotg} \alpha \tan \varphi \cos \alpha$$

Divide estas presiones en dos zonas definidas, también en este caso, por diferentes valores del ángulo á, considerando que el ángulo de rozamiento ö entre las dovelas y la cimbra es 45° (tag 45° = 1):

$$\text{Zona 1 } (90 > \alpha > 52{,}5°\text{: } P = w \operatorname{cotag} \alpha \cos \alpha$$

$$\text{Zona 2 } (52{,}5° > \alpha > 0°)\text{: } P = w \cos \alpha$$

Cuadro 1
Tabla comparativa de los valores máximos y mínimos de las cargas sobre una cimbra según Resal

ENSAYOS MORTEROS Y HORMIGONES CON CAL HIDRÁULICA												
Tipo de mezcla	Adiciones y aditivos	Cono (cm)	A/C	Compresión (N/mm²)			Flexo-compresión (N/mm²)					
							Compresión			Flexión		
				7 días	28 días	90 días	7 días	28 días	90 días	7 días	28 días	90 días
Mortero	—	8	0,67	3,90	5,61	7,03						
"	Fluidificante 2 %	22	0,43	10,18	15,94	18,99	11,12	16,40	19,13	3,24	4,98	6,41
"	cemento blanco 10 %	8	0,65	4,36	7,51	9,72	5,56	8,09	9,64	1,74	2,54	2,72
"	C.B. 10% y Fluid. 2%	24,5	0,45	12,36	19,76	23,45	19,47	22,12	23,68	4,38	5,97	6,8
"	cemento blanco 20 %	6,5	0,63	8,27	13,72	16,83	11,04	13,67	16,68	2,60	3,39	5,24
"	C.B. 20% y Fluid. 2%	24	0,44	20,86	28,90	35,61	23,79	28,21	34,15	4,87	7,18	8,93
"	cemento blanco 50 %	7	0,58	23,79	30,03	33,45	23,93	29,86	30,72	5,11	7,23	6,23
"	C.B. 50% y Fluid. 2%	25	0,40	44,89	54,99	55,58	44,74	49,98	49,77	8,21	10,70	10,63
"	Ladrillo 0-4 mm, 3,5 %	5	1,06	1,44	3,40	3,89	1,84	3,22		0,54	1,17	
"	Cenizas 25 %	5	0,61	5,51	7,95	11,93	8,20	10,15		—	2,83	
"	Cen. 25% y Fluid. 3,5 %	23,5	0,45	9,50	18,15		12,43	17,02		3,08	5,15	
Hormigón	Granito	5	0,65	4,16	5,68							
"	Granito+3,5% fluidificante	16	0,53	10,96	16,69							
"	Granito+1,5% fluidificante	5	0,55	4,78	8,01		4,33			1,26		
"	Cuarcita+1,5% fluidificante	6,5	0,25	5,93			6,48			1,52		

Estos valores son los que considera para el cálculo de las cimbras el ingeniero francés Ernest Aragon (1909).

b) El valor mínimo de la presión sobre la cimbra para un ancho de la bóveda unidad lo obtiene al considerar la fricción entre dovelas y la parte del peso que soporta la fábrica inferior (w tag ö tag ö'), que disminuye el peso transmitido sobre la cimbra:

$$w' = w - (w \tan \alpha \tan \ddot{o}') = w\,(1 - \tan \alpha \tan \varphi')$$
$$P = w' \cos á$$

Considera que los tramos de actuación de estas cargas vienen definidos por el ángulo de fricción φ' que considera igual a 27º como valor medio:

$$\text{Zona 1 } (90 > \alpha > 63^{\circ}):\ P = 0$$

$$\text{Zona 2 } (63^{\circ} > \alpha > 0^{\circ}):\ P = w'\,(1 - \tan \alpha \tan \ddot{o}) \cos \alpha$$

Esta última formulación, que expresa el valor mínimo de Resal, aparece en otras publicaciones, un poco menos antiguas, como los apuntes del ingeniero portugués Tectonio Rodrigues (1939) de la Universidade de Oporto o en el manual de Foerster (1930). El primero considera para la fricción φ' entre dovelas un valor medio de 22,5º y el ingeniero alemán 26º. Las expresiones de la presión sobre la cimbra en los dos tramos que dividen la cimbra, son:

$$\text{Zona 1 } (90 > \alpha > 90 - \varphi'):\ P = 0$$

$$\text{Zona 2 } (90 - \alpha' > \alpha > 0^{\circ}):\ P = w \cos \alpha\,(1 - \tan \alpha \tan \varphi)$$

Montaje de las dovelas

Para evitar la deformación de la cimbra de un arco, sobre todo si es grande, que se produce a medida que se van colocando las dovelas, desplazándose hacia el interior del arco en la parte baja y elevándose en el centro, los ingenieros del XIX recomendaban que las dovelas se acopiaran repartidas por toda la cimbra y se montarán de una forma simétrica (Rodrigues 1938,

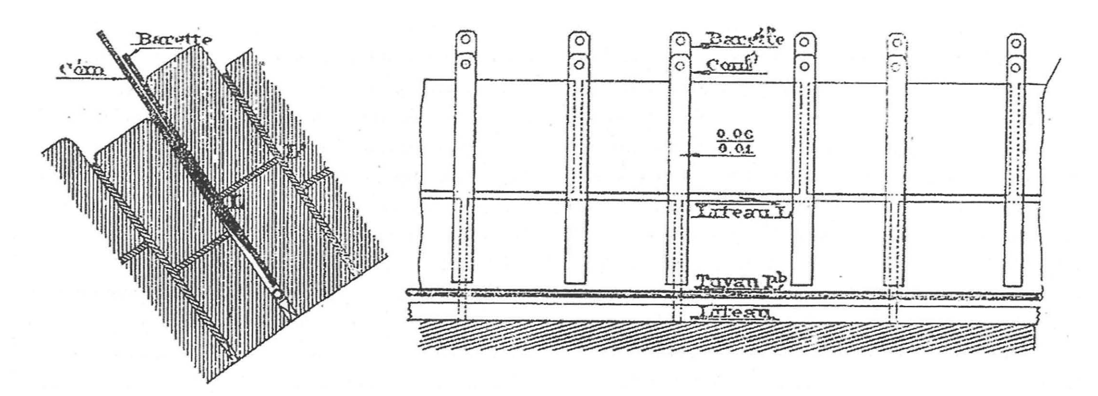


Figura 4
Preparación de la juntas secas según Gay

131 y ss.). La posición de cada dovela se controlará mediante dos reglas con marcas previamente calculadas, una vertical y otra horizontal, que indicarán si es correcta la situación de la arista inferior de la dovela. Un sencillo bastidor con un cuadrante graduado con las juntas del semiarco, llamado regulador de juntas (Fontoira 2000, 193–194), nos indicará si la inclinación de la junta es correcta a su vez pues deberá coincidir con la señalada por una plomada en la marca del cuadrante que le corresponda.

El cierre de la bóveda se realiza con la colocación de la clave que deberá ser labrada a medida del hueco resultante una vez acodaladas las contraclaves. Antiguos tratadistas como Juanelo Turriano, mencionan como esta piedra clave debía entrar a presión golpeada con una maza para aminorar el riesgo de que la bóveda se deformarse excesivamente al descimbrar. En el XVIII ya se mencionan otros procedimientos de cerrar la bóveda que no tenían tanto riesgo de fracturar la clave, como el recomendado por Perronet que disponía en seco las últimas hiladas de dovelas afirmadas con cuñas de madera introducidas a golpe de mazo entre tablas enjabonadas, rellenando las juntas con mortero de cal y cemento.

Posteriormente el ingeniero Séjourné desarrolló un nuevo sistema de cierre de bóveda que provocaba igualmente una abertura de la clave, consistente en introducir en las juntas un mortero de cemento que era compactado enérgicamente con la penetración de unas barras metálicas golpeadas con una maza. Los resultados de los ensayos realizados en el Laboratorio de la École des Ponts et Chaussées indicaban que este compactado podía originar en una junta de 15 mm de espesor las presiones necesarias, del orden de 15 kg/cm^2, para provocar dicha abertura. Este mortero contenía entre 500 y 600 kg de cemento por metro cúbico de arena de la mejor calidad y una relación ideal agua/cemento de 0,25–0,26 (Gay 1924, 648 y ss.). Este procedimiento, muy utilizado en Francia ya que disminuía mucho las deformaciones producidas durante el descimbrado, orientó las investigaciones hacia sistemas más adecuados como la puesta en presión directa de las juntas para abrirlas consiguiendo la elevación de la bóveda sobre la cimbra y facilitando el descimbrado. El primer ingeniero que empleó esta técnica fue M. Freyssinet en la construcción del puente de Villeneuve-sur-Lot, en el que aplicó en las juntas unos gatos hidráulicos para abrirlas hasta un punto determinado, que le permitió corregir los efectos del descenso de la bóveda durante y después del descimbrado.

El descimbrado de un arco

Los tratados de construcción citan los diferentes sistemas que se utilizaban en la delicada operación de descimbrado de un arco, en los que siempre ha de procederse con lentitud y regularidad para evitar movimientos bruscos que puedan generar esfuerzos de tipo dinámico que podrían causar fisuras o el desportillado de aristas, e incluso empujes no deseados en pilas o estribos (Gay 1924, 519 y ss.).

El descimbrado se realizaba provocando el descenso de la cimbra, mediante dos sistemas aplicados en la base de los soportes: desplazando cuñas de madera o metálicas (material usado en épocas más modernas) que se hallaban intercaladas entre los ejiones o placas de apoyo en número de dos o tres (es el procedimiento más antiguo), y facilitando la salida lenta de la arena muy seca que estaba confinada en sacos o en cajones de chapa sobre los que se apoyaban los pies derechos de la cimbra, lo que producía su descenso y con ellos la cimbra. Estos dos sistemas no permitían recuperar la posición inicial en caso necesario. Si en cambio lo permitían otros sistemas, como el desarrollado por M. Dupuit en 1848, formados por gatos de rosca con tornillos fileteados en el mismo sentido pero con pasos diferentes que se enroscaban en una tuerca común (el giro del tornillo en un sentido o en otro subiría o bajaría la cimbra), o el empleado por el ingeniero Pluyette, que consistía en unas placas de apoyo circular de fundición con una resalte en hélice, sobre el que se apoyaba en su parte más alta, la base del puntal de la cimbra dotada de una rueda; al girar la placa esta rueda descendía por la hélice y con ella el puntal y la cimbra (Aragon 1909, 488).

MORTEROS Y HORMIGONES DE CAL HIDRÁULICA

La utilización de hormigones y morteros fabricados con cal hidráulica en la restauración de las bóvedas de fábrica está justificada fundamentalmente por dos motivos: el primero por la ausencia en los paramentos exteriores de manchas o eflorescencias producidas por el arrastre de sales solubles por el agua de amasado o infiltrada, que precipitan al evaporarse ésta, y el segundo por facilitar que las bóvedas conserven, en una mayor medida, la capacidad de abrir grietas para adaptarse a las pequeñas variaciones de contorno o a los puntuales incrementos de las cargas. Mantener este comportamiento «elástico» es lo que hace que los arcos siempre sean capaces de encontrar situaciones de equilibrio; en caso contrario, por ejemplo producido por una intervención que merme o anule este comportamiento estructural, puede producir efectos perniciosos para la propia obra y por la tanto para su conservación.

Para evitar estas eflorescencias que afectan negativamente la estética de la obra, en general se han empleado hormigones y morteros elaborados con cemento blanco que no las producen al carecer de los silicatos las originan y que además tienen adecuadas resistencias a la compresión y una cierta resistencia a la tracción. La utilización de cal hidráulica también permite anular las eflorescencias pero se tenía una cierta desconfianza en lo que concernía a sus resistencias a la compresión, ya que, en general, tanto la disposición de este material como los conocimientos y la experiencia sobre su uso se han reducido mucho.

Con objeto de ampliar los conocimientos sobre el empleo uso de la cal en hormigones así como de conocer sus características más importantes, hemos estado en contacto con el laboratorio de Hormigones Prebetong de Lugo en el que se han realizado numerosos ensayos con microhormigones y hormigones elaborados con cal hidráulica procedente de la fábrica que el grupo industrial Cimpor posee en Mondego (Portugal).

Los resultados obtenidos en los citados ensayos se indican en el cuadro nº 2.

Cuadro 2
Resultados sobre morteros y hormigones de cal hidráulica realizados por el Laboratorio de Prebetong

Comparación entre los valores máximos y mínimos obtenidos por Resal		
Peso w de las dovelas/metro de ancho		1
Angulo rozamiento entre dovelas y cimbra		45
Angulo rozamiento entre dovelas		27
Angulo alfa	Presión máxima	Presión mínima
0	1	1
5	0.996194698	0.951786629
10	0.984807753	0.896329587
15	0.965925826	0.834050936
20	0.939692621	0.765424654
25	0.906307787	0.690973027
30	0.866025404	0.611262679
35	0.819152044	0.526900253
40	0.766044443	0.438527797
45	0.707106781	0.346817881
46	0.469920562	0.328136435
50	0.461203824	0.25246847
55	0.438761293	0.156197623
60	0.404224396	0.058738017
62	0.387225307	0.019587294
62	0.387225307	0
65	0.358511992	0
70	0.302643222	0
75	0.237707382	0
80	0.164841131	0
89	0.017431659	0
89	0	0

La dosificación de los microhormigones para cada amasada fue de 7 kg de cal y 32,7 kg de arena 0–8 mm. Las conclusiones que se extraen a la vista de los resultados con las siguientes:

1) La adición de un fluidificante permite disminuir la relación agua/cemento y conseguir mejores resistencias a la compresión y flexocomprexión.
2) La adición de cemento blanco (10, 20 y 50 %), con relaciones A/C similares, mejora mucho las resistencias a la compresión y flexocomprexión, y más si se añade un 2% de fluidificante.
3) La adición de polvo de ladrillo cerámico (0–4 mm), en un 25 %, absorbe mucha agua (A/C de 1,06) y disminuye mucho las resistencias a la compresión y flexocomprexión. La adición de fluidificante no mejora sustancialmente estos resultados.
4) La adición de cenizas de la Central Térmica de Compostilla (León) en un 25 %, con una relación agua/cemento similar, también permite mejorar las resistencias a la compresión y flexocomprexión, que se incrementan si se añade un fluidificante.

En los hormigones se hicieron las amasadas con la misma dosificación pero con gravas 0,6–25 mm. Se ensayaron probetas realizadas con gravas de granito y distintas relaciones agua-cemento (A/C), con mejores resultados si se añadía a la amasada un fluidificante que mejoraba su manejo reduciendo la cantidad de agua necesaria.

De todo ello se puede concluir que se podría utilizar los hormigones elaborados con cal hidráulica allí donde se precisen resistencias de compresión en el entorno de 15 N/mm^2 a los 28 días, siempre que se añada a las amasadas un fluidificante que baja la relación A/C y por tanto mejora la resistencia a la compresión y mucho mejor si se agregue un porcentaje de cemento blanco o de cenizas. Se podrían usar como morteros de las fábricas (por ejemplo en los montajes y/o refuerzos de muros, tímpanos, pretiles, etc.) y en aquellas partes del puente que estén sometidos a la fuerza del agua como tajamares, espolones, estribos y pilas. En cuanto a la ejecución de una rosca en el trasdós de un arco para mejorar su estabilidad, se debe tener presente que el material empleado ha de tener una buena resistencia a la compresión (consideramos suficiente si es superior a los 10 N/mm^2) pero a la vez una débil o nula resistencia a la tracción para no dificultar que la bóveda encuentre su equilibrio abriendo grietas. Una solución correcta para este menester, que extraemos de los resultados anteriores, es emplear un aglomerante bastardo de cal y cemento blanco (un 15 %), o la mezcla de cal y cenizas (25%). Con estas dosificaciones se han obtenido las menores resistencias a la flexión a los 28 días. A pesar de que no consigamos la eliminación total de la capacidad de resistir tracciones, con el empleo de la cal se consiguen morteros y hormigones más flexibles ya que el módulo de elasticidad es significativamente más pequeño que los elaborados con cemento, y por ello a igualdad de tensión se produce una mayor deformación.

Obras de reparación y consolidación en el Ponte de San Alberte

El puente de San Alberte, situado en el municipio de Guitiriz (Lugo), es una obra medieval parcialmente reconstruida en el siglo XVIII, cuya reciente restauración fue acometida por la Dirección Xeral de Patrimonio de la Consellería de Cultura e Deporte de la Xunta de Galicia. Su importancia histórica y patrimonial fue incluido en el libro *Puentes Históricos de Galicia* (Alvarado, Durán, Nárdiz, 1989).

Probablemente fue construido en el siglo XIV o XV para dar continuidad sobre el río Parga a un camino jacobeo medieval que desde el norte de la provincia de Lugo se dirigía hacia el sur, al encuentro del Camino Francés a Santiago. Debió sufrir varias ruinas a la vista de las reconstrucciones que se ven en sus paramentos, siendo la más notoria la realizada a finales del siglo XVIII para incorporarlo provisionalmente al Camino Real que se construía por aquellas fechas entre Madrid y A Coruña, antes de la construcción del cercano puente de Roca.

Posee dos arcos de dovelas graníticas, el de la izquierda de origen medieval con una directriz prácticamente semicircular y 8,40 metros de luz, y el de la derecha, construido en el siglo XVIII, con una forma ojival de 8,25 metros de luz.

Daños que presentaba la obra del puente en sus bóvedas y la restauración realizada

Las bóvedas estaban articuladas en zonas que se correspondían exactamente con las de los modelos

teóricos de rotura para sus respectivas directrices de medio punto y ojival (Huerta 2004, 100–101). La bóveda medieval está articulada en la clave por su hundimiento provocado por el aplastamiento y desprendimiento parcial de las piezas de la clave; este hundimiento provoca el empuje de la parte de los riñones hacia fuera, abriéndose rótulas en el intradós a su altura. En cambio el arco ojival del XVIII, desfasada e inadecuada para las cargas habituales de un puente, tiene su clave levantada con dos rótulas en el intradós a cada lado de la pieza clave y el consiguiente desplazamiento hacia dentro de los semiarcos que produce rótulas en el trasdós de sus mitades superiores.

El aplastamiento de la clave del arco medieval era el daño más significativo que presentaba el puente, y



Figura 7
Dovelas de la clave del arco medieval dañadas

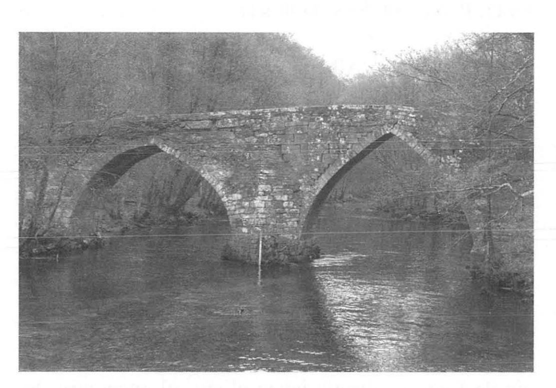


Figura 5
Alzado aguas arriba del puente de San Alberte antes de las obras

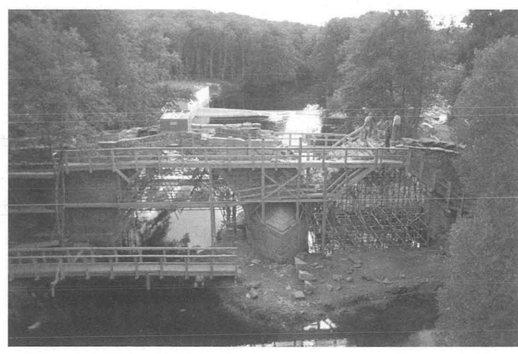


Figura 8
Vista de las obras desde aguas abajo

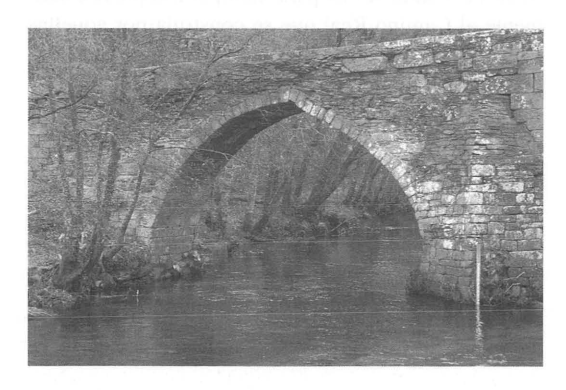


Figura 6
Alzado aguas arriba del arco medieval antes de las obras

los que motivaron su cierre preventivo antes de la ejecución de la obra una vez constatada la insuficiente seguridad detectada en la fase de proyecto.

Las obras de restauración diseñadas tuvieron como fin la sustitución de las dovelas dañadas y el refuerzo de las bóvedas con unas roscas interiores de hormigón de cemento blanco en masa con objeto de asegurar su estabilidad por el paso de una carga puntual de 5 t. Para ello se cimbró el arco medieval con una estructura que permitió su desmontaje parcial y en el del siglo XVIII se colocó un contrapeso de 4 t en la clave para asegurar su estabilidad durante las obras; también se colocó un apeo bajo este arco para evitar cualquier desplazamiento hacia el interior.

Después de desmontar los pretiles se procedió a excavar el relleno de ambas bóvedas y a desmontar parcialmente los paramentos de los tímpanos para corregir los desplomes y agrietamientos. Con la excavación no se sobrepasó el nivel de los riñones en las bóvedas ya que en ambas se hallaron antiguos rellenos de mampostería tomada con cal de suficiente consistencia para sus respectivas estabilidades.

Para el arco medieval se proyectó corregir su directriz, pues simplemente con la recuperación de su forma original, ya se conseguía duplicar el coeficiente de seguridad geométrico existente antes de la intervención, pero todavía resultaba insuficiente para

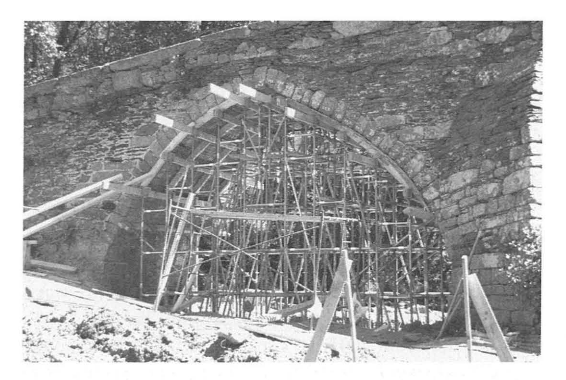


Figura 9
Vista aguas arriba del arco izquierdo cimbrado todavía sin desmontar

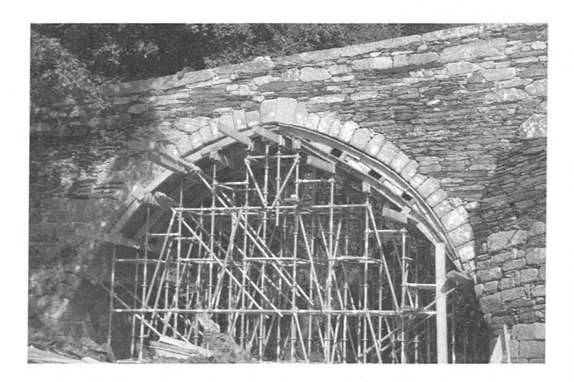


Figura 10
Vista aguas arriba del arco izquierdo cimbrado con la directriz corregida

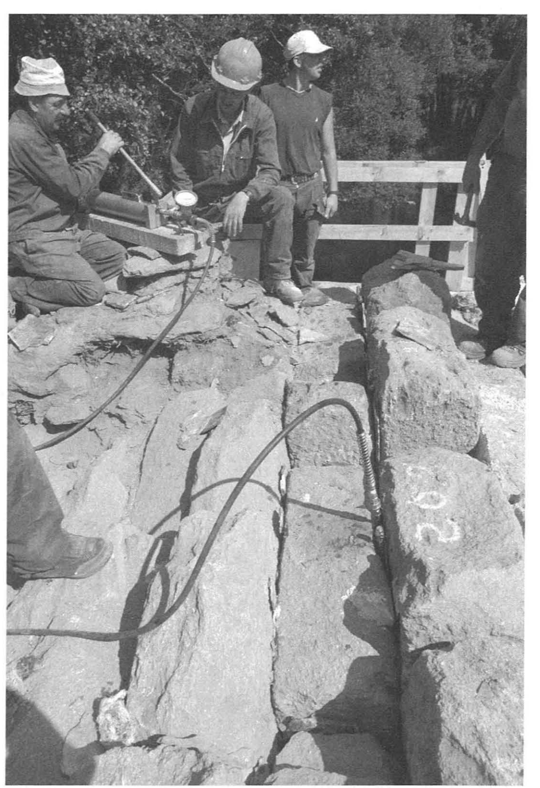


Figura 11
Utilización de gatos planos hidráulicos en la clave

asegurar la estabilidad para el paso de una carga móvil de 5 t. El arco del XVIII también tenía un coeficiente de seguridad insuficiente. Con estas circunstancias se proyectó para ambas bóvedas la ejecución en los trasdós de un refuerzo de hormigón en masa que incrementase el espesor de las roscas y por consiguiente el coeficiente de seguridad hasta valores aceptables.

En el desmontaje parcial del arco medieval y previamente a él, se trató de que el semiarco que no se iba a desmontar no se descomprimiese mediante la colocación de un cable tensado que lo rodeaba. Primero se quitaron las rajuelas y ripios de cuarcita que acuñaban las dovelas para facilitar su desmontaje que realizamos como aconsejaban los tratados del XIX, de forma lenta y regular. Una vez terminado se construyó el suplemento de la cimbra que

permitió recuperar la forma original a la parte desmontada.

Se montaron las dovelas retiradas apretándolas unas contra otras con cuñas de buen esquisto; las piezas rotas se repararon con resina y alguna junta amplia se rellenó con mortero de cal y cemento blanco. Una vez alcanzada la clave se hicieron las plantillas de las nuevas piezas que sustituían a las dañadas, para que quedasen bien ajustadas y con las juntas en seco. Cerrada la bóveda, se alojaron en estas juntas cuatro gatos hidráulicos planos para tensar la bóveda en esta zona —de modo similar al desarrollado por Freyssinet a principios del XX— y anular el previsible asiento del descimbrado, provocando su ascenso. Con una bomba hidráulica manual se dio presión a los gatos planos hasta una alcanzar 50 bares, equivalente a una fuerza de unas 3 t, aplicada de modo alternativo y escalonado, controlando los desplazamientos de las dovelas con unas sencillas placas de pizarra tomadas con escayola y estratégicamente colocadas; en la clave se alcanzaron movimientos horizontales de 2 cm y verticales de 0,5 cm. Una vez terminada esta operación se procedió al acuñado entre las dovelas para mantener la forma conseguida.

También se reforzaron las fábricas de los tímpanos incrementando sus espesores y se volvieron a rellenar su interior con material granular. Pasados unos días se procedió al descimbrado del arco medieval que resultó muy sencillo ya que el ascenso provocado por la presión de los gatos prácticamente había despegado la bóveda de la cimbra. No obstante se controló topográficamente los posibles movimientos de la bóveda durante este proceso, que resultaron muy reducidos pues el mayor descenso fue de 5 mm.



Figura 12
Nueva calzada del puente

La intervención en el puente se finalizó con el montaje de los pretiles y la nueva pavimentación de la calzada inspirada en los restos hallados durante la obra del Camino Real, consistente en una capa de grava recebada. El nuevo pavimento se realizó con una capa de hormigón en masa cuyo fraguado superficie fue desactivado mediante la aplicación de un producto especial; la limpieza posterior con agua a presión permitió dejar visto el árido rodado del hormigón, con un resultado final que simula muy bien el pavimento del siglo XVIII.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, S.; M. Durán y C. Nárdiz. 1989. *Puentes Históricos de Galicia*. Santiago: Xunta de Galicia, Colegio de Ingenieros de Caminos.

Aragon, E. 1909. *Ponts et ouvrages en maçonnerie*. París: H.Dunod et E.Pinat, Éditeurs.

Degrand, M.; Resal, J. 1888. *Ponts en maçonnerie*. París: Baudry et Cia, Libraires-Éditeurs.

Durán Fuentes, M. 2004. *La construcción de puentes romanos en Hispania*. Santiago: Xunta de Galicia.

Durán Fuentes, M. 2005. *La construcción de puentes romanos en Hispania*. 2ª edición corregida y aumentada. Santiago: Xunta de Galicia.

Foerster, M. 1930. *Manual del Ingeniero constructor y del Arquitecto*. Madrid: Espasa-Calpe.

Fontoira Surís, R. 2000. *Fábricas de cantería*. Vigo.

Gay, C. 1924. *Ponts en Maconnerie*. París: Librairie J.-B. Baillière et fils.

Gauthey, M. 1843. *Traité de la construction des ponts*. Mons, Bruxelles, Namur, Liége.

Gautier, H. 1716. *Traité des ponts et chaussées*. París:Chez André Cailleau.

Gaztelu, L. 1919. *Práctica usual de los cálculos de estabilidad de los puentes*. Madrid: Librería Adrián Romo.

Heyman, J. 1995. *Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica*. Trad. Santiago Huerta. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Heyman, J. 1999. *El esqueleto de piedra. Mecánica de la estructura de fábrica*. Trad. Gema M. López Manzanares. Madrid: Instituto Juan de Herrera, CEHOPU.

Heyman, J. 2001. *La ciencia de las estructuras*. Trad. Gema M. López Manzanares. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Huerta Fernández, S. 2004. *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de es-*

tructuras de fábrica. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Perronet, J-R. 2005. *La construcción de puentes en el siglo XVIII*. Trad. A. de las Casas et al. Madrid: CEHOPU, Instituto Juan de Herrera.

Rodrigues, T. 1938. *Curso de pontes*. Facultade de Engenharia-Universidade do Porto.

Sánchez Taramas, M. 1769. *Tratado de fortificación ó arte de construir los edificios militares y civiles. Escrito en inglés por Juan Muller*. Barcelona.

La ingeniería al servicio de las puertas de la ciudad: el caso del Portal de Quart, Valencia

Lorena Fernández Correas

Entre las principales obras de ingeniería por las que más se ha preocupado el hombre a lo largo de los tiempos se encuentran las destinadas a la defensa y protección de la ciudad, tales como las murallas y sus accesos. Desde la Antigüedad se ha suscitado el interés por sistematizar el perfecto cerramiento de la urbe y su estructura de ingresos, puesto que han significado el primer elemento de contención e imagen de la urbe para los extranjeros.

Hasta que no entremos en una concepción moderna de urbanismo en el siglo XIX, no se concibe la metrópoli sin los muros que la abrace, por lo que en los tratados suele ser frecuente encontrarnos con las representaciones idealizadas de las ciudades amuralladas. Valga como ejemplo el franciscano de Girona, Francesc Eiximenis, en cuya obra *Dotze del Crestià* (1384–1385) pone de manifiesto repetidas veces la importancia capital que tiene la muralla como elemento definitorio y protector de la misma, siendo esta idea avalada por los grandes pensadores de la Antigüedad: «no aprovaren los grans philosofos que dins lo mur de la ciutat» (Eiximenis [1383–1385], Vila 1984: 88).

El autor no es solo conocedor y docto en las obras religiosas difundidas durante la Edad Media acerca de las ciudades perfectas, celestiales e ideales, sino que recoge los postulados de tratadistas militares romanos harto estudiados en el medioevo, tales como Vegecio y su *De re militari* (Falomir, 1996: 79). Estas enseñanzas son divulgadas con facilidad entre los intelectuales de la época siendo de gran relevancia en el caso que nos atañe, puesto que nuestro predicador franciscano está redactando su magna obra justo en el momento en que se están alzando las nuevas murallas valencianas. No podría entenderse sólo como mera coincidencia el hecho de que vuelque todo su saber y bagaje en obras de carácter cívico (*Regiment de la cosa pública)* y sobre todo en la creación de una ciudad perfecta dentro del ideal cristiano, atendiendo al hecho de que estamos tratando de una ciudad conquistada al enemigo islámico y desde hace más de un siglo se está configurando como la nueva urbe cristiana. Así pues en analogía podría entenderse la caída a conciencia del muro islámico, como una liberación simbólica de la herejía, y la construcción de los nuevos muros como la cimentación de la nueva fe.

Por estas razones, y considerando el enorme auge e influencia que están adquiriendo las órdenes mendicantes en el floreciente Reino de Valencia, no es de extrañar que Eiximenis pusiera todo su empeño en el *Crestià* y fuese reflejo valenciano de los principios urbanísticos «modernos» del siglo XIV que están recorriendo toda Europa, y de los que se hace partícipe Valencia como ciudad que ha alcanzado un alto status político-económico y cultural durante el siglo XV, que será el de su máximo esplendor.

De este modo, además de la importancia simbólica y el factor humano, Eiximenis se hace eco de los susodichos tratados considerando la muralla como elemento primordial:«Deu ésser lo mur bo e alt, e gros, e fort, per tal que la ciutat no solament se puixa defendre per virtut de sos hòmens, ans encara per virtut de sos murs».[1]

Pero el muro no es concebido aisladamente, sino que no se comprende sin toda una red de puertas y torres; así pues, con respecto a las primeras el mismo autor nos lo expresa del siguiente modo: «al mig de cada costat deu esser un portal principal que sia lluny de cadascun angle de mur seu . . . posaren, encara, que de cascun d'aquestes portals principals fins al dos angles que li estan a los costats hagues dos altres portals menys principals. La un fos a la part destra l'altre a la squerra».[2] En lo que concierne a las segundas: «deuen encar les torres del mur esser així altes per gran torre de fust que fos feta defora per esvair e per entrar dins que nols puxa soberguejar».[3] Pero la afirmación que más nos interesa es la que realiza a colación de los portales principales: «Lo mur deu haver en cadascun angle principal un bell castell. / E cascun portal principal deu estar entre dues torres, e les torres / deuen ésser pus altes e majors en los quatre portals principals».

Entendemos que hable de «cuatro» puertas principales, puesto que la muralla debía de tener una en correspondencia con cada uno de los puntos cardinales fundamentales, a semejanza de como lo hicieran los romanos, cuyos tratados sobre arquitectura y urbanismo le son sobradamente conocidos dada su formación.

Eiximenis es heredero de una época en que el decoro urbano se discute en los Consejos de la Ciudad (Consell General) y se crean por real orden organismos para el mantenimiento y embellecimiento de la urbe, como es el caso de la Ilustre Junta de Murs i Valls fundada por el rey Pedro IV el Ceremonioso el 24 de agosto de 1358[4] (a la cual nos volveremos a referir más adelante) y dentro de esta imagen de *lo bello,* se comprende la ciudad ordenada y ortogonal encerrada entre muros.

Centrándonos en el caso de Valencia, desde su fundación en el 138 a.C ha sido dotada de tres recintos amurallados diferentes, el primero de época romana, el segundo islámico y por último el cristiano. Cada una de estas murallas gozaba de un número diferente de accesos a la urbe, así pues, se cree que la romana (Aldana, 1999; Badía, Pascual 1991: 11) que perduraría hasta el siglo X,[5] tendría cuatro puertas respondiendo a la estructura de los extremos del Cardo y el Decumanus, mientras que ese número se elevó a siete con la creación de las nuevas murallas islámicas en el siglo XI y hasta trece en las cristianas en el siglo XIV. El portal no sólo ejerce un cometido simbólico del poder civil, sino que conglomera las funciones de cerramiento del lienzo de la muralla, aduana de mercancías y, la más importante para el tema que nos atañe, es concebida con clara intención militar de defensa.

Las torres y el portal de Quart representan una de las mejores obras de arquitectura e ingeniería de la ciudad medieval de Valencia. Erigido entre 1441 y 1470, responde no sólo a una realidad de apogeo político-económico por la que atravesaba el Reino, sino al despliegue urbanístico que se lleva a cabo, en el que se desarrollan numerosas indagaciones en el terreno de la ingeniería aplicado a la arquitectura.

Estructuras precedentes al Portal de Quart

Como se ha indicado, a la muralla cristiana le precedió la islámica mandada construir por Abd al-Aziz ibn Abi Amir (1021–1061) (Sanchis Guarner 1999: 51; Badía Capilla, Pascual Pacheco 1991: 11), cuyos restos hallados en las diferentes excavaciones arqueológicas nos permiten suponer que estaban realizadas con encofrados de mortero, y las torres que la protegían con mampostería trabada con mortero. Según la propia descripción de Escolano (1610, 751): «El muro viejo que nos ha quedado a lienços desde aquellos tiempos, era de cal y canto, y tan firme que con haver pasado cerca de mil trescientos años, aun hoy día permanecen pedazos muy largos».

El perfil de la muralla estaba salpicado de torres que probablemente estuvieran conectadas por un muro en menor altura que el de ésta. A lo largo de este cinturón defensivo se abrían siete puertas, entre la que se encontraría la de Alcántara, que vendría a ser la homónima a la de Quart (Cruilles 1876: 294) en la futura muralla cristiana.

De éstas, las del Puente, la Boatella y la Hoja, poseían una estructura similar a la que posteriormente mantendría tanto el Portal de Serranos y el Portal Nuevo como el Portal de Quart, es decir, dos torres flanqueando un vano, en estos casos, continuado por un puente probablemente de madera. Dicho sistema de puerta flanqueada por dos torres (Torres Balbás 1985: 635) fue frecuente también en la arquitectura islámica quedando ejemplos como la Puerta de los Pozos o de los Siete Suelos, «Bab al-gudur» (llamada «de las Albercas» por Torres Balbás), levantada en el siglo XIV en la muralla de la Alhambra. Así pues, quizá además del bagaje y conocimiento de la arqui-

tectura romana antigua,[6] el contacto y conocimiento de primera mano de esta clase de ingresos en la muralla, inspirara la creación de los futuros portales cristianos. Habitualmente se ha querido ver como referente compositivo del Portal al Castel Nuovo de Nápoles (1443–1458) dada su estructura de portal entre dos torres, en cambio considero que es más lógico ver una interrelación entre influencias de estas arquitecturas que acabamos de describir y que han producido como frutos más próximos a Quart en lugar y tiempo, tales como los nombrados portales de Serranos (1392–1398), el Nuevo (comenzado en 1391 y finalizado a la par que Quart, 1471).

Tras la conquista de la ciudad en 1238 (cuya descripción pormenorizada por el propio rey Jaime I en su *Crónica o Llibre del feits* nos ofrece en diversos pasajes detalles sobre los muros) se mantuvieron las murallas musulmanas, aunque se realizaron diversas intervenciones en las puertas que la horadaban, cerrando alguna y abriendo otras nuevas como la *Nova,* y que comunicaban los barrios que iban creciendo en las afueras con el interior de la medina; éste precisamente será uno de los factores determinantes para la creación del nuevo cinturón urbano (Rodrigo Pertegás 1923: 301).

En este momento posterior a la conquista, estas puertas y torres valieron para delimitar los posesiones que se iban donando; así, en el Llibre del Repartiment figuran en más de una ocasión como punto de referencia que marca el límite. Tal es el caso de los habitantes de Barcelona a los que se les conceden las casas de la ciudad que están intramuros desde la Porta de Xerea hasta la Porta de Boatella.[7]

Por lo que respecta a la de Alcántara y siguiendo las anotaciones de Escolano, recogidas también por Torres Balbás (1985, 631) y Pertegás (1923, 317) podríamos imaginarnos que el antiguo portal respondería a una tipología común en las puertas islámicas, a saber, una torre cúbica adosada a la muralla con la parte inferior abierta en un costado. Dicha morfología se verá, si no repetida sí emulada en la futura configuración del primitivo portal de Quart.

Origen y vida del Portal de Quart

Tal como hemos señalado unas líneas más arriba, en las décadas centrales del siglo XIV, la ciudad de Valencia se encuentra en una coyuntura que le hace plantearse seriamente, sin dilatar más en el tiempo, la ampliación de las murallas islámicas que la rodean. Por un lado, la persistente amenaza bélica a manos de Pedro el Cruel de Castilla y el Islam; por otro, los incesantes aumentos de población que se concentra cada vez más en los arrabales de la muralla y que se pueden ver en textos cercanos en el tiempo como *Crónica*, del padre Pere Antoni Beuter, quien escribe: «per on s'és venguda a poblar tant per los entorns en los ravals, que fón necessari haver de fer altra muralla que comprengués tota la població. I de fet se alçà i acabà l'any del Senyor 1356».[8]

Y, por último, los incesantes desbordamientos del río, que adquieren un cariz preocupante, hasta el punto que incluso el rey escribe a los Jurados de la ciudad para expresar sus condolencias y apoyo, como sucediera con la inundación del 28 de septiembre de 1328 (Simó, 1997: 101).

Por estos motivos, las obras de la nueva muralla se comenzaron el 1356 a cargo del mestre pedrapiquer (maestro de canteros) Guillem Nebot, y los gastos los sufragó el Consell General (Melió 1991:52), dándose por finalizada en 1370. Para su construcción se empleó tierra apisonada mezclada con cal y cantos rodados, composición que puede apreciarse en los restos adosados a los dos únicos portales que aún quedan en pie, los de Serranos y el que nos ocupa, el de Quart.

En su totalidad eran trece, cuatro de los cuales tenían a gala ser puertas mayores o grans; Puerta de Serranos, de la Mar, de San Vicente y Quart. Y, los portales chics: portal dels Blanquers; del Coixo o Setze Claus; dels Inocents o de Torrent; dels Jueus o Santa Caterina; del Real; de Russafa; de Santa Creu o Nou; dels Tintorers o de la Corona, y por último, el portal de la Trinitat.[9]

Entre estas puertas que salpicaban la muralla, se encontraría la que fuese sustituida por el futuro Portal de Quart, que recibía su nombre por abrir el camino al cercano pueblo de Quart[10] de Poblet *distante una legua de Valencia* (Esclapés 1738: 39) y que a su vez es nombrado de ese modo, por pertenecer a la jurisdicción del monasterio de Poblet. Esta nomenclatura se pone de manifiesto en la documentación, como por ejemplo en un escrito de 1433, en el que se pagan seis sueldos a Miquel Fries «por trasnportar una carga de ladrillos desde las torres dels Serrans al portal del camino de Quart» (Cárcel Ortí 1992: 503).

Por ende, ponía en contacto a la ciudad levantina con la Meseta castellana, por el antiguo camino de la

Celtiberia. (Aldana 1999), sirviendo de acceso principal para esta vía en máximo auge dado el apogeo mercantil entre la lana del interior de la península y los productos exportados desde la costa, y las estrechas relaciones familiar-diplomáticas bajo los Trastámara llevadas a cabo entre los reyes de ambas monarquías.

Como hemos indicado antes, suponemos que su primitiva configuración seguiría el esquema de torre cúbica adosada al lienzo, descripción que coincide someramente con la realizada por Carreres Zacarés (1943, 46) quien además indica que poseía almenas. Suponemos además que contaría con un puente, puesto que en julio de 1406 el sotsobrer pagó a Joan Eiximeniç «por transportar diez vigas desde el portal de la Trinitat hasta los puentes de los portales dels Tints y de Quart, para repararlos» y en 1409, quedan registrados los gastos por «pulir la obra del puente del portal de Quart» (Cárcel Ortí 1992:371).

El portal aparece citado como tal en la documentación, ya en febrero de 1400, con motivo del pago por parte del Sotsobrer a los peajeros de los portales de la ciudad, entre los que se encuentra nombrado el de Quart (Cárcel Ortí, 1992: 285).

A partir de aquí, lo encontramos citado en diversas ocasiones, como en enero de 1410, en que el Consell encomienda las llaves el portal a Pasqual Gençor, o en enero de 1416 en que se le realiza una pequeña reparación al desagüe del abrevadero, volviendo a aparecer de nuevo en septiembre del mismo año con motivo de la reparación de dos albañales entre el portal de Quart y Sant Joan. La producción de estos documentos nos da idea de la actividad que mantenía el portal puesto que es necesaria su reparación en numerosas ocasiones, la de su abrevadero y la de la casa de su peajero como en noviembre de 1416, al igual que el camino que de él parte el cual entorno a 1428 es ensanchado por orden de los jurados, como se desprende de un escrito del sotsobrer de mayo de dicho año en que se solicita la reparación de los baches ocasionados por tal ensanchamiento. Teniendo en cuenta que el Portal que conocemos actualmente se comenzó en 1441, es lícito pensar que se refiere a un primitivo portal situado en el mismo emplazamiento que el actual y al que se le conocía con la misma denominación que será la que conserve hasta nuestros días.

Figura en la documentación varias veces más con motivo de diversas reparaciones, llamando nuestra atención las del 31 de octubre de 1429 en la que «el sotsobrer anota los gastos ocasionados por continuar las obras del portal de Quart, disponiendo la artillería y construyendo los andadores de la muralla, y 20 de enero de 1430, en que se anotan los gastos ocasionados por hacer antepechos y pequeños muros en la muralla del portal de Quart», dándonos a entender una cierta preocupación ya por reforzar esa entrada a la ciudad. En los años sucesivos se nos muestran diferentes reformas de índole variada pero que permiten entrever un inminente cambio, tales como en enero de 1436 en que se debe reparar la cubierta del portal y en junio de 1438 la bóveda u, octubre de 1439 en que se sierran y quitan las vigas, siendo ésta última la más grave, puesto que describe la necesidad y urgencia con la que se debe reparar la puerta y el arco de entrada que, al estar semi-arruinados se encontraban a punto de caer (Carreres Zacarés 1943: 47). Dada la cronología, es lógico pensar en que se llegue a la determinación de construir un nuevo portal, cuyas obras darán comienzo tres años más tarde. Tras esta intervención, es citada en un par de ocasiones durante 1440, y finalmente, será derruida como una parte más del plan urbanístico ordenado por Pedro IV para completar la nueva muralla cristiana y con ella los nuevos accesos.

Tras haberse realizado ya otros portales como el de Serranos o el Portal Nuevo, comienzan las obras en algún momento de 1441 con Tomás Oller, notario y sotsobrer, a la cabeza (elegido el 14 de enero del mismo año)[11] a cargo de la Sotsobreria de Murs i Valls, quienes le consignan mil florines anuales hasta 1469 en que se finalizan. Gracias a un documento proporcionado por Carboneres (1873, 2) contamos con dicha información ya que, dada la pérdida de los libros de la Fábrica y la Sotsobreria de Murs i Valls correspondientes a los años 1441 y 1442, se carecía de noticias exactas sobre su génesis, por lo que los diversos autores erraron en fecharlas en 1444 a tenor de una lápida escrita que se encontraba incrustada en las mismas torres y que reproduce Cruilles (1876, 297) en su obra. Así pues, y coincidiendo con el comienzo del ejercicio económico anual, dicha nota manuscrita en el seis de marzo de 1442, es un aumento de asignación de dinero para las obras que en dicho momento ya llevaban unos meses en marcha, y dada la magnitud y experiencia, Tomás Oller se ve en la obligación de reclamar otros mil florines más anuales, lo que supone una asignación anual de dos

mil florines para su construcción, dándonos idea de ser una de las obras más importantes que se realizaban en ese momento. A juzgar por una comparativa realizada entre los portales de Quart y Serranos, podemos observar cómo el coste total de las obras ascendió a cerca de siete millones de denarios, mientras que la cifra correspondiente al Portal de Serranos suma cuatro millones, lo que representa casi el doble de inversión; aunque, bien es cierto que las de Quart tardaron casi veinte años en finalizarse, en contraposición con las de Serranos en las que se empleó un lustro. Esto se debe al sistema de financiación edilicia, que invierte más capital en Serranos, puesto que le urge más, y se reserva un modo de pago para Quart más cómodo, ya que al estar distendido en el tiempo supone un menor desembolso anual.

Debemos suponer que en 1441 se derriba el antiguo portalón de Quart del que probablemente se aprovechen materiales quizá para su inmediata cimentación, la cual suponemos que es continua, esto es, que cubra la totalidad de superficie de apoyo del edificio ininterrumpidamente. Podemos desprender esta información de la susodicha nota[12] por lo que imaginamos que las obras de demolición y levantamiento irían ejecutándose parejamente. Por lo que a la cimentación respecta, en este caso además, adquiere una forma de talud aumentando en superficie conforme va profundizándose en el terreno, lo que nos asegura una estabilidad perfecta. La correcta ejecución de los cimientos nos asegura una superficie uniforme, lo cual resulta imprescindible teniendo en cuenta que los muros van a constituir una prolongación de este cuerpo.

Para poder comprender mejor la cimentación del Portal, podemos valernos de la de su vecino Portal de Serranos (1392–1398) estudiado para su restauración y en el que vemos que posee varias capas de tierra y cal, grava de canto rodado y una losa de mortero de cal, todo rematado con hiladas de sillares rellenos de tierra y gravas, justo en el punto en el que comienza el talud de manera ascendente. En el caso de Quart, todo parece indicar que la cimentación de las torres sería escalonada construida mediante hiladas de piezas de mampostería y rellenos de mortero de cal mezclados con cantos rodados. Según las palabras de Ramírez Blanco y Benlloch Marco (2005): «cabe suponer que la cimentación de las torres de Quart se construyeron de hormigón de cal mezclado con piedras de mediano y gran tamaño formando una fábrica de mampostería poco concertada utilizando hormigón de cal como aglomerante».

No es de extrañar que las torres siguieran un proceso semejante puesto que es un modo de proceder bastante habitual en la Edad Media y que existe una diferencia cronológica entre ambas de unos cincuenta años.

Cabe suponer que la ejecución de esta base se llevó a cabo entre 1441 y 1443, puesto que en un documento del sotsobrer de 9 de marzo (Carreres Zacarés, 1943: 48) de dicho año, consta trabajando como maestro mayor Jaime Gallén quien, junto con su hijo y Andrés de Montoro, se encargan de diversas reparaciones, a la vez que figura la compra de madera para «les tapieres del alambors», lo que nos fija la señal en el proceso de alzamiento.

Todo esto descansaría sobre una solera de canto mucho más basta, de suma importancia constructiva y estructural puesto que aseguraba de manera uniforme la repartición de las cargas mediante una gran superficie de apoyo siguiendo las pautas que más tarde Alberti recomendaría en la construcción de este elemento. Esta cimentación se remata con una gran moldura de piedra que corona estos elementos y aporta una buena superficie de apoyo para arrancar los muros.

Cabe suponer que el hueco central dispuesto entre las dos torres se rellenó con el mismo método; esto es, tongadas de mampuesto, gravas y mortero de cal todo bien apisonado y compactado. Este relleno central correspondería a la cimentación del portal propiamente dicho.

Avanzamos en el tiempo y nos situamos ya en 1444, cuando aparecen como encargados de la obra, en albañilería Jaume Gallent y como Mestre Piquer (maestro de canteros) Francisco Baldomar en la cantería. A éste último se le paga el 1 de abril nueve dineros para trazar el diseño de los alambores, los cuales se encargan de coronar la cimentación; esta moldura fabricada en sillería de grandes dimensiones circundaba todo el perímetro de las torres, aparte de por su finalidad defensiva. con el fin de preparar el arranque de los gruesos muros; éstos se levantarían mediante la técnica del tapial pero sin poseer arcillas en su composición, ya que de hecho se pueden calificar como muros de hormigón de cal (esto es, tierra, cal y fibras vegetales mezcladas perfectamente, lo que proporciona una reducción de retracciones), por lo que necesitan de un elemento de arranque que les

aísle del terreno para evitar humedades que pudieran dañar el muro. Todo ello era seguido de piedra de Godella por la que se pagó trece sueldos la carretada (Carreres Zacarés, 1943: 49).

En este mismo 1444, entre el 29 de abril y el 25 de mayo se comienza a acomodar el portal para las obras de levantamiento por la parte de intramuros del mismo, que queda constituido por un arco de medio punto y una bóveda realizados con obra de fábrica de piedra. En el mes de mayo pues, debemos suponer ya los andamios puesto que se está listo para «paredar les dites torres», trabajo que se comenzaría a partir de junio, puesto que el 19 del mismo mes se «hace tapiar de taula una de les dites torres».

Retomando la construcción de los muros de las torres, hemos dicho que éstos están formados de hormigón de cal conformados con la técnica de tapial, la cual consiste en ejecutar un muro de fábrica in situ, consolidando tierras humedecidas a golpe de pisón dentro de un encofrado. Así pues, al referirnos al tapial en los muros de las torres entendemos la técnica empleada, con cal como aglomerante dando como resultado un muro de hormigón de cal. Debemos señalar que dadas las dimensiones y del grosor del muro, es difícil de imaginar cómo podrían sucederse los encofrados, puesto que se necesitarían agujas extremadamente largas.

Desde julio hasta final de año se tienen constatadas tres encofrados en la parte del portal del Cojo y dos en la otra (Carreres Zacarés 1943, 50) y la pared del portal.

A éste, se le aplicó un revestimiento a posteriori tras retirar el encofrado que aumenta la resistencia del muro y evita humedades. El resultado fue un tipo de muro que se adecua a las necesidades defensivas, sobre todo en materia de proyectiles, puesto que actúa como si absorbiera los impactos amortiguando el golpe.

Debemos añadir que a estos muros se le tienen que sumar los muros de cantería que crean la fachada intramuros de las dos torres, y conforman el portal completo, empleándose piedra caliza, la más utilizada en esta área geográfica. Los muros se llevan a cabo entorno a los años 1445, cuando está fechado un 19 de mayo un viaje de Baldomar a las canteras en busca de piedra para las bóvedas, para la construcción de las cuales se rehacen las cimbras de madera que suponemos ya están montadas en 1446 pues están dispuestos los moldes para las pechinas. (Carreres Zacarés 1943, 54).

A partir de este momento, y pese al esfuerzo en vano de invertir más dinero en la obra, el ritmo en la construcción del portal se verá disminuido por la urgencia de atender diversas catástrofes que tienen lugar en la ciudad, como por ejemplo el incendio del Mercado 1447, que desplazó a los obreros a reconstruir los daños o la epidemia del año 1450 que dejo paralizada la obra constructiva en la ciudad, a excepción de los trabajos en el río.

Fue poca la actividad en el portal durante estos años, pero no nula ya que en 1447 se habla de una primera reparación el 30 de marzo de las puertas de madera que se encontraban en mal estado. Durante este tiempo se realizan trabajos de decoración, tales como las letras en bronce o la creación del retablo que lo engalane, ya que era práctica habitual y los demás portales ya contaban con uno.

En 1449 se finaliza la parte inferior del portal y se comienza a subir piedra para las bóvedas, concluyéndose también el tercer arco del portal. Y en 1451 vemos cómo se retoma de nuevo la actividad constructiva de mano de Baldomar quien realiza la escalera en piedra para las torres.; en torno a 1452 se realiza la bóveda en la planta primera, una verdadera joya que demuestra el gran dominio de la geometría y del trabajo del corte de la piedra que tenía el maestro Baldomar; y entre 1451 y 1457, se construye el matacán de la planta segunda. Para comprender vagamente los medios e infraestructura de que disponían en la época para trabajar, nos podemos valer de anotaciones como la del sotsobrer el 26 de agosto de 1458, en donde «entrega diecisiete sueldos y seis dineros por construir de nuevo la escalera de madera que servía para subir los pertrechos a las torres del portal de Quart» (Cárcel Ortí 1992: 595).

A partir de 1460, Baldomar será sustituido por Jaime Pérez, quien estuviera bajo su mando, y confecciona los «arquets» de les torres, dejando de trabajar en ellas para irse a las obras del Portal Nou. A partir de aquí, vemos una lenta evolución ya que en 1460 se ejecuta la cubierta y el almenado de la parte superior de las torres, y, debemos esperar a 1468 a Pere Compte para continuar las obras, hasta que deba irse a dirigir las obras del Portal Nou, lo que indica que el de Quart ya no absorbía ni requería tanta atención.

En 1469 Pere Bonfill retoma las obras y ejecuta la pavimentación y los acabados, y en 1476, dirige las obras de las escaleras de caracol. Tradicionalmente, se le ha atribuido la autoría de las torres cuando real-

mente él las tomó prácticamente alzadas. Si bien es cierto que comparativamente Bonfill dedicó más años a su construcción (veinticuatro años, de 1469 a 1493) que sus colegas Baldomar (dieciséis años, de 1444 a 1460), Pérez (ocho años, de 1460 a 1468) y Compte (un año, de 1468 a 1469), cualitativamente, pienso que el mayor trabajo fue obra de los primeros, en especial Baldomar que configuró su eje y proyectó las bóvedas, a la par que levantó un elevado porcentaje de la altura total de los muros.

Finalmente, y tras haberse sustituido las puertas de madera el día de San Sebastián de 1490 (Teixidor [1767] 1895:154), el 3 de abril de 1493, se dan por finalizadas las obras tras unos trabajos de mantenimiento acordados por los miembros de la Obra de Murs i valls.

No obstante, pese a terminar ejecutándose de manera menos espectacular en presupuesto y rapidez que cuando se comenzaron, hay que advertir que dejaron su impronta los mejores profesionales de la construcción de la Valencia del momento, y no sería atrevido afirmar que de la Península, puesto que trabajan en el portal maestros de la talla de Pere Compte, maestro cantero cuyos trabajos se colocan a la vanguardia de la mejor arquitectura del siglo XV europeo con obras como la Lonja de los Mercaderes de Valencia (Patrimonio de la Humanidad) o Baldomar, quien sentará cátedra con espectaculares bóvedas como la realizada aquí, derroche de sabiduría de la estereotomía y que valdría de ensayo para la que realizara en el convento de Santo Domingo, considerada como toda una proeza a la sazón de la arquitectura europea de la época. (Zaragoza, 2000).

El portal de Quart como elemento de defensa moderno

Ya hemos hablado de la doble función que desempeña el portal, por un lado como tarjeta de visita al forastero que se le aproxima, y por otro como cerramiento del lienzo de la muralla. Esto es, se concibe con una intención estética que realce el ingreso a la ciudad y así se consigue, a tenor de declaraciones de autores como Lop (1674, 380) quien afirma que: «Aquesta Insigne Ciutat de Valencia, no sols està ilustrada ab la hermosura de les torres, y muralles, sino també ab la Fàbrica dels Portals grans, y chics, entre els quals, los de Serrans, y Quart tenen la obra més hermosa de torres».

Como parte integrante de la muralla, vemos que tiene diversas funciones, entre las que destacamos la de actuar como aduana cobrando aranceles y controlando las mercancías que entran a la ciudad, como ya sucedía en época islámica. En numerosas ocasiones se encuentran en la documentación órdenes de prohibición del paso de determinados productos, como la cal o el esparto, siendo encargados de ello los portaleros. Éstos, cuyo cargo era adjudicado por los jurados de la ciudad, debían rendir cuentas a la misma por mediación del almudín y eran responsables de los posibles fraudes teniendo que asumir las consecuentes multas y penalizaciones impuestas por el justicia criminal. Vivían en el mismo portal o en casas adosadas a ellos proporcionadas por la Junta de Murs i valls, y sus salarios (también otorgados por la misma institución)iban acordes con el gravamen de habitar y estar encargado de un portal mas activo e importante, u otro, a juzgar por la relación de pagas que nos facilita Lop (1674, 384) donde vemos que los portaleros de los portales grandes (Serranos, Quart, San Vicente y Mar) cobraban «25 liur.4sous», mientras que el del portal del Real «22 liur.4sous», Trinitat «19 liur.4sous» y el de la Corona «10 liur.4sous».

Pero no sólo vigilan el tráfico de mercancías y vehículos, sino que se encargan del cierre diario de las puertas custodiando la entrada, cerrando los portales chicos con la primera oración del Ave María y los grandes con la oración de las ánimas, menos el Portal del Real que es el único que permanece abierto toda la noche (Lop, 1674: 396).

En cambio, la función primordial de estas obras de ingeniería se destinaba a la protección del ingreso intramuros, materia en la que la de Quart se muestra pionera, adecuando los postulados de los clásicos a las nuevas necesidades.

Si bien el diseño responde a la arquitectura romana entremezclada posiblemente con la tradición islámica, la concepción sí que es claramente de la Antigüedad, puesto que sigue las doctrinas de Marco Lucio Vitruvio en diferentes aspectos. Así, en el capítulo V de *Los Diez Libros de Arquitectura*, recomienda que los cimientos de las torres y murallas se caven hasta hallar terreno firme y se conformarán de un espesor mayor que el de las paredes que se alzarán sobre ellos, como hemos visto que sucede en Quart.

Continúa el autor diciendo que las torres deberán proyectarse de manera que sobresalgan de los muros a fin de complicar el asalto lo máximo posible, y que han de construirse en forma circular o poligonal, pues las cuadradas son fácilmente destruibles.[13] Esta idea la vemos repetidas veces en castillos anglosajones o bretones como el de Montmuran, siglo XIV, ya que como indica Cairns (1999, 23) con esta clase de puerta los atacantes, para poder acceder a la ciudad debían atravesar por en medio de ambas torres y sortear dos puertas, con la ventaja de que al ser redondas no podían crearse ángulos muertos para los defensores.

Huelga señalar que el portal de Quart se concibió con un marcado carácter defensivo y militar, puesto que analizándolo en su estructura contamos con adarve o camino de ronda (empleado para la defensa, desde lo alto de la cortina, del paso de la puerta), almenas, aspilleras, barbacana, matacán, foso, y peto, a lo que se suman sus muros izados de manera ataludada para entorpecer los asaltos y rodeados de un alambor que al impactar contra él las piedras lanzadas desde lo alto, rebotarían proyectándose hacia el enemigo. Un aspecto defensivo más, según diversas hipótesis, podría considerarse el hecho de estar abiertas en su parte intramuros, lo que facilitaría un aumento de efectivos en las torres desde la ciudad si fuera menester, o propiciaría la huída de los que están en su interior ante una derrota en el asedio. A estos elementos en superficie se añade la gruesa cimentación que entorpecería la creación de una mina o galería excavada junto a la muralla para debilitar y derrumbar el muro.

Otro hecho que tuvo a su favor, aunque de un modo casi fortuito, fue su situación; pese a que en el momento de la construcción resultara incómodo, puesto que su planta se debe disponer en oblicuo para adaptarse al trazado del camino y calle de Quart (el cual no era perpendicular a la muralla) lo que le proporciona un ángulo diagonal casi imperceptible para quien se acerca a ella. Vitruvio, indicaba que era mejor no realizar los ingresos de manera rectilínea a la ciudad con el fin de asegurar una mejor defensa, y pese a que éste no es el caso de un ingreso acodado ni semejante, podemos presuponer que la desviación en el eje desorientaría a quien asediara, ya que está totalmente disimulada.

Esta planta en esviaje se debe a la grandiosidad de Baldomar, quien ducho en estas complicaciones arquitectónicas como demostró en las ventanas de la Seo, adecuaría el portal con la calle ya trazada en el tejido urbano. Los esviajes de vanos abiertos en fábricas son empleados desde la Antigüedad, como en el Arco de Augusto en Perugia, (Zaragoza, 1993: 98) pero nada comparado con la arquitectura valenciana del siglo XIV, que encontrándose en plena efervescencia de indagaciones, será un caldo de cultivo para fraguar las mejores construcciones del momento. Dentro de esta exhibición de saber arquitectónico en que se convierte la ciudad, destaca con mayúsculas el virtuosismo de Baldomar quien, dada la cronología sugerida para el portal, cabe suponer que proyecta el edificio y con él el consecuente esviaje en todos sus vanos y abovedamientos.

Sin embargo, dentro de las características del portal, la más destacable sería sus muros, compuestos de hormigón de cal. Esta composición tiene la ventaja de actuar con un colchón que absorbe los impactos, evitando así la destrucción del muro. Debemos recordar que a finales del siglo XIV ya se están empleando armas de fuego y no sería descabellado pensar, dado el ambiente de indagaciones que vive la ciudad, que se erigieran en este material a ciencia cierta de que era el más conveniente para la poliorcética moderna, en vistas al desarrollo que iba adquiriendo la balística en el arte de la guerra. Como señala Cámara (1989, 83) el sistema de construcción de las torres en tierra, no era sólo poco costoso de reparar, sino el más eficaz en la defensa, como indicaba Antonelli citando a Plinio.

Comienza en esta época toda una corriente de tratadistas que se afanan en interpretar a los clásicos, como es el caso de Alberti, quien en su *De re aedificatoria* intenta aunar las ideas de Vitruvio junto con las de Vegecio (quien aboga por los ángulos), Francesco di Giorgio (1480) o Leonardo Da Vinci (principios siglo XVI) y sobre todo intelectuales que pretenden estipular los axiomas del guerrear moderno que poco a poco será impensable sin la pólvora y se tiene muy presente a la hora de levantar murallas de nueva planta como es el caso de la población valenciana de Cullera (Arciniega, 1999, 61).

Junto a éstos que los producían, hallamos a los príncipes de la guerra y los nobles que los leían y atesoraban en sus bibliotecas, como es el caso de Fernando I de Aragón, quien poseía un ejemplar del Vitrubio.[14]

Este afán por proteger el portal viene dado por su inmediata geografía, ya que era un punto vulnerable

al no tener cercana ni la franja del mar ni la del río, sino al contrario, se extendía frente a ella en esta parte de la ciudad una gran llanura que ya facilitaba la concentración de amplios ejércitos, tales como el del sobrino del emperador almorávide Yusuf, que acampó en el Plano de Quart (Sanchís Guarner, 1999, 64).

Conclusión

El Portal de Quart es una de las mejores obras de arquitectura e ingeniería bajo medieval que sobreviven en la ciudad de Valencia, testimonio de los conocimientos técnicos de los artífices de la misma. Por sí solo, es un icono de la ciudad salvaguardándola en momentos cruciales de su historia, y como tal fue creado en una época en que la urbe está intentando renovar su aspecto y muda su exterior con la intención de mejorar su interior. Pero, paradójicamente la ciudad que expande sus murallas para abrazar los arrabales y para fortalecerse frente al enemigo, unos siglos más tarde se deshace y rehúsa de todos aquellos a los que integró en su entramado urbano. Del mismo modo, asombra ver cómo unos siglos más tarde lo que fuera símbolo del poder de un reino, de su crecimiento y decoro, de la política del período de mayor esplendor, es demolido en otra intención de ordenación urbana.

Pero al margen de destrucciones, sobrevivieron el Portal de Serranos y el de Quart para honrar la memoria de quienes emplearon tantos esfuerzos en su construcción y nos dejaron estos magnos ejemplos de ingeniería y arquitectura al servicio de la defensa de la ciudad, y sobre todo, de sus gentes.

Notas

1. Eiximenis, ed. Albert Hauf, 188.
2. Eiximenis, 187.
3. Eiximenis, 187.
4. Lop, J: *De la Institucio Gobern Politic i Juidic, Observances, Costums, Rentes y Obligacions de les Il-lustres fabriques vella, dita de Murs e Valls, i Nova, dita del Riu, de la insigne, lleal i coronada ciutat de València, f.2*
5. A tenor de lo indicado por Badia Capilla y Pascual Pacheco, 1991: 11, según la descripción en el siglo X por el geógrafo al-Razi.
6. Serra Desfilis describe el tipo arquitectónico del Portal de Quart basado en la *porta castrorum* de época imperial y en los arcos de triunfo. (Serra Desfilis 1993: 192), que responden al esquema de vano arqueado entre dos torres.
7. *Llibre del Repartiment,* (Ferrando 32).
8. Edició Enric Iborra, 275.
9. Esta jerarquía ya se ve reflejada en documentos como el de 19 de mayo de 1494 en que «el Consell provee que se cierren todos los portales de la muralla, excepto los cuatro principales dels Serrans, Quart, Sant Vicent y Reial» (Cárcel Ortí, 1992: 616).
10. Según Boix (Boix, 1863: 138) el nombre Quarte, tiene su raíz latina en «quator», lo que significa «a cuatro millas de la capital».En cambio, para el citado Cruilles (1876:296)su etimología latina viene de «quartum», por la señal romana que en el había.
11. Carreres Zacarés 1943: 47.
12. «Lo portal vell que era en lo loch on de present se fa lo dit portal encara gran part del dit mur es enderrocat per causa de la dita obra».
13. Vitruvio, ed. Blánquez 1997: 22.
14. Biblioteca de la Universidad de Valencia, procedente de la biblioteca de Ferrante de Aragón (ca.1480) (De Seta 2003, 71).

Lista de referencias

Aldana Fernández, Salvador. 1999. *Valencia. La ciudad amurallada.* Valencia: Generalitat Valenciana.

Arciniega García, Luis. 1999. Defensas a la antigua y a la moderna en el Reino de Valencia durante el siglo XVI. *Espacio, tiempo y forma. Revista de la Facultad de Geografía e Historia. Serie VII.* Madrid: UNED.

Badía Capilla, Ángeles; Pascual Pacheco, Josefa. 1991. Las murallas árabes de Valencia. *Quaderns de difusió arqueológica 2.* Valencia: Ayuntamiento de Valencia.

Beuter, Pere Antoni [1544] 1982. *Crónica.* Ed. Enric Iborra. Valencia: Institució «Alfons el Magnànim». Diputació Provincial de València.

Boix, Vicente. [1863] 1979. *Valencia histórica y topográfica.* Valencia: Imprenta de J. Rius, Editor. (facs. Ed. París-Valencia).

Cairns, Conrad. [1987] 1999. *Los castillos medievales.* Madrid: Editorial Akal.

Cámara Muñoz, Alicia. 1989. Città e difesa dei regni peninsulari nella Spagna Imperiale (secoli XVI-XVII). En *Le città e le mura.* Roma: Editori Laterza.

Carboneres, Manuel. 1873. *Nomenclator de las puertas, calles y plazas de Valencia.* Valencia: Imprenta del Avisador Valenciano a cargo de José Peidró.

Cárcel Ortí, M. Milagros. 1992. *Vida y urbanismo en la Valencia del siglo XV. Regesta documental.*Num,6 Miscellània de textos Medievals. Barcelona: CSIC.

Carreres Zacarés, Salvador. 1943. El Portal de Cuarte. *Anales del Centro de Cultura Valenciana*. Valencia: Imprenta Hijo de F.Vives Mora.

Cruilles, Marqués de. [1876] 1979. *Guía urbana de Valencia antigua y moderna.Tomo II.* Valencia: Imprenta de José Rius (facs,Ed. París-Valencia).

De Seta, Cesare. 2000. Nápoles en tiempos de la Corona de Aragón: entre utopía y renovatio. En *Una arquitectura gótica mediterránea.Vol. II.*Valencia: Generalitat Valenciana.

Eiximenis, Francesc. [1384–1385] 1983. *Lo Crestià* Ed. Albert Hauf. Barcelona: Edicions 62.

Esclapés, Pasqual. [1738] 2004. *Resumen historial, de la fundación i antigüedad de la ciudad de Valencia.* Valencia: Ayuntamiento de Valencia.

Escolano, Gaspar: [1610] 1972.*Década Primera de la historia de Valencia. Libros III y IV* Valencia: Universidad de Valencia.

Falomir Faus, Miguel. 1996. *Arte en Valencia, 1472–1522.* Valencia: Generalitat Valenciana.

Llop, Joseph. 1674–1675. *Observancies, costums, rentes y obligacions dels oficials de les il-lustres fabriques vella, dita de Murs e Valls i nova, dita del Riu, de la insigne, lleal i coronada ciutat de Valencia.* Valencia.

Melió Uribe, Vicente. 1991. *La «Junta de Murs i Valls».* Valencia: Generalitat Valenciana.

Rodrigo Pertegás, José. 1923. La urbe valenciana en el siglo XIV.

III Congreso de Historia de la Corona de Aragón. Valencia: Ayuntamiento de Valencia.

Sanchís Guarner, Manuel. 1999. *La ciudad de Valencia. Síntesis de Historia y de Geografía urbana.* Valencia: Ayuntamiento de Valencia.

Simó Santonja, Vicent Lluïs. 1997.*Les Corts valencianes 1240–1645.* Valencia: Corts Valencianes.

Teixidor, Fr. Josef. [1767] 1895. *Antigüedades de Valencia.* Valencia: Imprenta de Francisco Vives Mora (facs. Ed. París-Valencia).

Torres Balbás, Leopoldo. [1971] 1985. *Ciudades hispano-musulmanas.* 2ªed. Madrid: Instituto hispano-árabe de cultura,

Tzonis, Alexander; Lefaivre, Liane. 1989. *Il bastione come mentalità.* En *Le città e le mura.* Roma: Editori Laterza.

Vila, Soledad. 1984. *La ciudad de Eiximenis: un proyecto técnico de urbanismo en el siglo XIV.* Valencia: Diputación Provincial de Valencia.

Vitruvio, Marco Lucio. [1486, ed. Princeps] 1997. *Los Diez Libros de Arquitectura.* Barcelona: Editorial Iberia.

Zaragoza Catalá, Arturo. 1993 El arte del corte de piedras en la arquitectura valenciana del cuatrocientos. Francesch Baldomar y el inicio de la estereotomía moderna. *Primer Congreso de Historia del Arte Valenciano.*

La formación de los maestros constructores en el siglo XVI, tanto Extremadura como en América. A propósito de Francisco Becerra

Yolanda Fernández Muñoz

Como es sabido, durante la segunda mitad del siglo XVI se fueron forjando las líneas y modelos de la arquitectura virreinal y nuestro interés se centrará en reconocer cual fue la formación de los arquitectos que participaron ese desarrollo. En especial la presencia de un arquitecto trujillano, Francisco Becerra, que llevará hasta América una gran formación artesanal, trazando algunos de los edificios más importantes de la América hispana (como las catedrales de Puebla, Lima y Cuzco) y su influencia será decisiva en el desarrollo posterior de la arquitectura hispanoamericana.

Tras un primer momento de construcciones de urgencia donde la falta de maestros, el aprendizaje de los naturales y la asimilación de las técnicas autóctonas marcaron el desarrollo de la arquitectura iberoamericana, a finales del siglo XVI los cabildos ciudadanos tendieron a normalizar una estructura gremial que les pudiera asegurar una calidad constructiva y un funcionamiento regular de los distintos oficios.

En el siglo XVI los maestros ocupaban el grado más elevado dentro del gremio, pudiendo «usar el dicho oficio y tomar obras por cualquier manera siempre que no excedan ni pasen de la facultad de que fueren examinados».[1] Estos maestros podían poner su propio taller, recibir aprendices y hacer convenios de trabajo con oficiales, contratar obras y dirigirlas, tener voto para la elección de veedores, asistir a las reuniones del gremio y aspirar a cargos directivos. Tampoco debemos olvidar que debían regirse por las ordenanzas de la ciudad.

El *Maestro de Cantería* sería entonces la denominación común para la mayoría de los arquitectos españoles, confundiéndose con los simples cortadores de piedra. Sin embargo, los maestros eran reconocidos entre la masa de los meros operarios por su capacidad de «ordenar» y de diseñar los cortes pertinentes para obtener las diversas piezas que habrían de conformar las superficies de los espacios a construir, dado que la piedra era el material dominante en la arquitectura, por fuera o por dentro, al menos en los edificios de cierta nobleza, tanto en Extremadura como en América. Tenían la capacidad o dominio para trazar a tamaño natural la parte o el todo de una obra, hacer el despiece, sacar las plantillas y señalar los cortes, lo que se denomina el *arte de la montea*. Este trabajo no podía ser tan corriente, pues se requería un conocimiento más allá de la simple experiencia, es decir, un cierto saber teórico que la visión del todo exigía, aun cuando no se pudiera, porque se partía de ella sin prescindir de la habilidad manual.

A Mediados del siglo XVI, para poder alcanzar el grado de *Maestro,* en el caso de la Nueva España, los requisitos serían entre otros, ser «cristianos viejos» y de total «limpieza de sangre»,[2] medidas que poco a poco se fueron olvidando (Fernández 1986, 14: 49–68). Los maestros examinados estaban entonces en condiciones de tener tienda u obrador, que constituía la escuela de aprendizaje. La enseñanza que se transmitía era esencialmente práctica, destinada a forjar no un cuerpo teórico sobre el arte, sino un ejercicio que significara la alternativa de ganarse la vida

con su propia tarea. Además, el ejercicio de la arquitectura estaba más vinculado al campo de las Matemáticas que al de las Bellas Artes, ya que el dibujo era patrimonio de unos pocos, y los arquitectos debían resolver más un problema constructivo, de solidez, que de estética o teoría.

Un memorial presentado por los Maestros de Obras españoles en la ciudad de México, exigía que hubiera un mayor esfuerzo en el aprendizaje, llegando a un período de seis años para los oficiales y requiriendo para ser Maestro, «asentar cantería, mampostería y delinear», así como «leer, escribir y contar», conocer los principios de la geometría y «montear, reducir, cuadrar y cubicar» (Fernández 1985).

Las cartas de examen constituían el aval de profesionalidad imprescindible para el reconocimiento de la Maestría por el Gremio y el Cabildo. Así por ejemplo, en las Ordenanzas de arquitectos de la Ciudad de México de 1599, se estipulaba:

> . . . que si viniera de España algún oficial pobre y no examinado, los examinadores tengan obligación de examinarlo de forma gratuita y no oprimirle constando su suma pobreza y si no trajese capa y otra cosa que le impida trabajar, los Alcaldes y examinadores pidan entre los demás Maestros examinados para ayudarse a la necesidad de vestido . . . (De Barrios Lorenzot 1921).

La presentación de los títulos que acreditaban el dominio del oficio, también era un requisito para los extranjeros. Por otra parte, la carta de examen debía estar siempre avalada por el Cabildo, quien desde la Real Cédula de 10 de marzo de 1566 era el que concedía la licencia, por competerle la función de policía urbana.

Algo muy significativo es la verificación de los contenidos de los exámenes en los que se evidencia el carácter pragmático del aprendizaje gremial, tanto en España como en América. Los *tratados de arquitectura,* como los de Sagredo, Vignola o Serlio, que estaban poblados de gráficos y que podían tomarse como referencia, tuvieron más éxito frente al de Alberti, que carecía de láminas.

A pesar de todo lo expuesto, sin embargo, en cuanto a la obtención del título de maestro de arquitectura a través de un examen, algunos investigadores, como el Dr. Marías, piensan que para alcanzar la maestría a mediados del siglo XVI en España, más que por un nuevo período de formación institucionalizado, se llegaría a través de la práctica diaria del trabajo en la obra. Además, se cree que la maestría era un título más honorífico y oficioso que oficial y académico. Un oficial destacado por su pericia se formaría como maestro en la práctica al contacto con un maestro, llegando a una situación intermedia de discipulazo, o quizá «criado», es decir, el que se ha formado con un maestro pero no exclusivamente como oficial (Marías 1983, vol.1:87). Es de suponer, que el oficial aprendería nuevas disciplinas de índole práctica, en especial las técnicas constructivas de muros, vanos, escaleras, abovedamientos, techumbres, cimentación y, posiblemente, el arquitecto Francisco Becerra llegaría a obtener el grado de maestro de esta manera en España, aunque sabemos que a su llegada a Nueva España debió someterse a las pruebas pertinentes que exigían las Ordenanzas de albañiles y arquitectos. La primera vez que encontramos citado documentalmente a Becerra como maestro, sería en la obra de la Iglesia de Santo Domingo de Trujillo en 1566.[3]

Lo que no podemos precisar en la formación de los maestros, es si a este grado de aprendizaje responden los libros de «cortes de piedra de cantería» como el de Alonso de Vandelvira u otros similares. Quizá estos tratados consistían en prontuarios, repertorios de uso personal referentes a las técnicas necesarias para construir, en la práctica y materialmente, determinados tipos de arcos, bóvedas, pechinas, troneras, escaleras, cúpulas,.. No tenían base matemática explícita razonada, no había demostraciones, sino que eran meras descripciones de un quehacer, de tal manera que el oficial pudiera aprender en ellas los secretos de la construcción material y práctica manual. También puede ser que al fallecer el maestro legara sus libros y herramientas a su alumno.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, el maestro de cantería dominaría el saber constructivo de la época, aprendido por tradición a través de la práctica del oficio. Cuando los canteros se formaban en el ambiente familiar de un taller, como el caso de Becerra, con conocimientos sobre la talla especializada, quizá llegaran a alcanzar el grado de formación profesional del maestro sin necesidad de exámenes y formando parte de las cuadrillas itinerantes que se movían por la región a las órdenes de un maestro.

Por tanto, aunque venimos diciendo que el conocimiento técnico se podía aprender según los métodos de aprendizaje tradicional, sin embargo el conoci-

miento del arte del diseño debían aprenderlo de un maestro, a través del contacto con otros arquitectos, a través de las copias de las trazas (plantas y monteas) de esos arquitectos o de los grabados de los libros de antigüedades y de las estampas que circulaban en ese momento. Pero esto no enseñaba a componer un edificio, ni proporcionaba unos criterios estéticos, ni funcionales, ni les instruía sobre el modo, la autoridad, la orientación, . . . que según Marías, solo se podría aprender de la teoría arquitectónica italiana de Vitruvio y Alberti (Marías 1979).

A finales del siglo XVI en España, el aprendizaje tradicional del arte u oficio de la cantería fue sustituyéndose por una dualidad de estudios de delineación y arquitectura (matemática, geometría, proporciones, órdenes, composición, estética práctica). Por su parte, Lázaro de Velasco también concede a la escultura una importancia fundamental, como base formativa del arquitecto. Pero además, señala que debía tener conocimientos sobre máquinas y artilugios mecánicos para que tuviera una formación técnica completa. Debía saber de:

> Cimbras, tablados, tiros e gruas para subir los materiales en lo alto de la obra que se labra. La qual tercera cosa aunque sea materia menos grave, que el cargo que toma el Architecto, y lo haga el carpintero; al fin es menester que se platique con el maestro y por su consejo e parecer e lo aprobado se ponga en obra pues sobre ello se arma lo que el ordena . . . artificios que son menester para la cantería, que aunque parezca ser cosas baxas proceden las invenciones dellas del estudio de buenos juicios y habilidades . . . (Pizarro y Mogollón 1999, 49).

El Examen

El análisis del espacio y de la arquitectura prehispánica, no resulta suficiente para darnos cuenta de los conocimientos, las habilidades y las aptitudes implicados en la organización y las relaciones sociales de su construcción. Para ello es necesario estudiar el contexto histórico de su producción, por que el espacio arquitectónico en el terreno analítico resulta opuesto a nuestra percepción cotidiana, ya que está fragmentado, dividido en materias de estudio y procesos de construcción. De ahí la necesidad de elaborar relaciones entre distintas materias y procesos para dar cuenta de diversas tramas históricas del objeto arquitectónico. Ese es nuestro interés sobre el *examen del constructor*, informarnos de los conocimientos, habilidades y aptitudes demandados al constructor de la ciudad para su certificación institucional. Aunque no tenemos muchos datos sobre los exámenes o las pruebas que tendría que pasar Francisco Becerra para adquirir el título de Maestro en España, si sabemos a que tipo de pruebas debían someterse los oficiales en Nueva España, que tendrían que obtener su carta de examen y si no tuvo que hacer las pruebas, al menos podremos conocer los requerimientos exigidos a Becerra para poder ejercer su profesión al llegar a la Nueva España. Tenemos noticias de estos exámenes tanto en México como Puebla, y vamos a acercarnos a cada uno de ellos, ya que Becerra tuvo que trabajar en ambas ciudades.

En primer lugar, realizamos un estudio de este examen en el marco de la *Certificación Institucional del Gremio de la Ciudad de México*, definido jurídicamente por las «Ordenanzas de albañilería» expedidas y confirmadas en el año 1599 y vigentes hasta 1785. Lo que nos interesa saber, fundamentalmente, son los conocimientos del constructor gremial acerca de los materiales y procedimientos constructivos adquiridos durante su formación, requeridos y registrados durante su examen por el Cabildo de la Ciudad de México conforme a las ordenanzas del gremio. Si bien las Ordenanzas todavía no estaban definidas jurídicamente en el momento de la llegada de Becerra en 1573, sabemos que sin la *carta de examen* el constructor no podía ejercer el oficio.

Las instituciones encargadas de certificar al constructor en el espacio arquitectónico de la Ciudad de México, fueron creadas desde la esfera política de la sociedad por medio de disposiciones jurídicas. El gremio, la academia y la escuela fueron las instituciones facultadas para seleccionar, formar, examinar y autorizar a quienes debían llevar a cabo la construcción espacial. Aunque una institución sustituyó a la otra, todas invariablemente aplicaron el *examen* como el procedimiento definitivo para concederle al constructor su certificado institucional.

Esta certificación ha estado determinada jurídicamente por las normas escritas que expresan los procedimientos formales para la legitimación de sus enseñanzas y aprendizajes. Según estos documentos, el trabajo del edificador del espacio arquitectónico de la Ciudad de México en un primer momento, fue considerado como un oficio por las «Ordenanzas de Albañilería», luego fue reconocido como un arte, según

los «Estatutos de la Real Academia de San Carlos de Nueva España» y como una profesión desde el 2 de diciembre de 1867 con la promulgación de la «Ley de Instrucción Pública para el Distrito Federal» (Paz Arellano 2004, 2:25–42).[4]

Por otra parte, las Ordenanzas de albañilería del gremio determinarían oficialmente lo que debía saber y hacer el aspirante a maestro para poder obtener su *carta de examen* y el *título* expedido por las autoridades. Así, el examen de los conocimientos, habilidades y aptitudes del constructor sería la forma de verificar la apropiación de los conocimientos de los constructores sobre la variedad, propiedades, aptitudes y usos de los materiales para la edificación; así como de las secuelas de trabajo mediante las cuales se les transformaba y asignaba un lugar en el espacio construido.

Para examinarse, el aspirante debía enviar al Procurador General de la Ciudad una copia de su solicitud de examen y los documentos que dieran constancia de su vida y costumbres. Posteriormente, el Procurador daría un informe sobre los antecedentes penales del pretendiente, ya que debía ser alguien de mucha confianza, pues de él dependían los avalúos y tasaciones. Sabemos, por ejemplo, que en el caso de Francisco Becerra poco tiempo después de llegar a la ciudad de México, se encarga de tasar los daños del Convento de Santo Domingo de México; por tanto, en ese momento ya tendría su carta de examen.

Además, los maestros veedores debían cerciorarse de la capacidad del pretendiente. Para ello se realizaban unas «pruebas de idoneidad». No hemos localizado datos al respecto en México, pero si en Lima, cuando Becerra solicita el título de Maestro Mayor de los Reinos de Perú, y se realiza la denominada «Probanza de Méritos y Servicios» (A.G.I. Patronato 1585, 191). Sería un procedimiento aplicado para diversos oficios y con diferentes propósitos jurídicos, que además era una práctica común en la vida social de la Colonia. En este caso, el resultado de la prueba de idoneidad debía servir para conocer la condición social y los antecedentes de la formación del aspirante. Los veedores debían cerciorarse de la idoneidad del aspirante a través de fuentes de información, verbales y escritas: indagaban el parentesco del aspirante, su lugar de origen, buscaban referencias personales y recomendaciones, domicilio en la ciudad . . . Debían informarse de quienes habían sido sus maestros, dónde y cómo aprendieron a leer, escribir, etc. Tras esta averiguación previa fijaban o no la fecha de examen, de común acuerdo con los candidatos y según el caso.

Una regla implícita que se demandaba al candidato a maestro de arquitectura en el siglo XVI era tener el oficio de albañil o contar con la experiencia de sobrestante. Sin embargo, ya en 1747 se dice que «no es menester que sea de profesión albañil, como quieren algunos, basta que sea práctico en la Arquitectura, Montea, Cortes de Cantería, y que pueda rayar cualquier género de Arco, o de vuelta» (Paz Arellano 2004, 40; Schuetz 1987, 100–101). La comparación sin duda puede parecer sutil, pero no lo es, porque sirve para distinguir la enorme diferencia que existe entre hacer solamente el trazo para el corte de una pieza en cantera y entregarlo al cantero para que él la fabrique; o bien, verse obligado a trazar, cortar y asentar una pieza de cantera durante el examen para convertirse en maestro del gremio de arquitectura, que sabemos era el título adquirido por Francisco Becerra. Ser albañil, saber de albañilería y dirigir el trabajo de un albañil, son tres capacidades distintas de los obreros de la construcción espacial.

Además de lo expuesto, no era suficiente la palabra para declarar a alguien como maestro del gremio de albañilería. Por ley, ya comentamos que sólo podía ser maestro y ejercer el oficio quien tuviera un documento que lo amparase, un certificado gremial que lo declarase como tal, es decir, una *carta de examen*. En ella los veedores reconocían y describían las habilidades del examinado en ciertos procesos de la construcción. Este documento establecía las tareas autorizadas a las que debía dedicarse exclusivamente el constructor y, en caso de no acatar estos límites, los veedores lo multaban con cincuenta pesos de oro común y le quitaban la obra para asignársela a un maestro examinado «competente».

También en esta hoja de papel, el constructor tomaba el nombre de maestro examinado y la calificación otorgada por los examinadores, utilizándola como atributos de su nombre para presentarse socialmente como maestro examinado del gremio de albañilería. Así mismo, en el nombre también se exhibían sus habilidades sobre materiales y procedimientos constructivos al llamarse: maestro de cantería, maestro de cantería y albañilería, maestro de carpintería y albañilería . . .

El examen y la carta suscrita por los veedores también servían para tramitar el título correspon-

diente ante el escribano de la Ciudad de México. Este documento daba nombre al constructor y tenía validez en todos los reinos y señoríos españoles. Por tanto, en esta ciudad valían las cartas de examen redactadas en otras ciudades hispanas, es decir, que o bien Francisco Becerra llevó su carta de examen desde Trujillo y, por tanto, habría unos exámenes establecidos en el gremio de canteros de su ciudad natal, o bien se sometió a las pruebas que le impusieron en la ciudad de México, que demostraron que estaba preparado para ejercer su profesión en esta nueva tierra.

Además, sabemos que el establecimiento de las Ordenanzas del gremio de albañilería permitió que algunos viejos maestros pudieran obtener su carta de examen, sin estar obligados a someterse a ninguna prueba. El reconocimiento a su obra realizada durante doce años serviría para probar su capacidad y alcanzar el reconocimiento que les convertía en «maestros examinados» con carta de examen del gremio de albañilería.[5]

Según las ordenanzas gremiales de 1599, había dos tipos de examen, uno «de lo tosco» y otro «de lo primo». Sin embargo, a través de otros documentos del siglo XVIII, se puede afirmar que el examen «de lo tosco» o «de lo prieto» fue la prueba aplicada a cualquier albañil, aunque no supiera leer ni escribir. Quien tenía carta de examen «de lo tosco» o «de lo prieto» sólo estaba autorizado a construir obras de adobe y en caso de trabajar en obras de mampostería debía hacerlo en calidad de oficial bajo la dirección de un maestro «de lo blanco». Además no estaba autorizado a hacer avalúos (Paz Arellano 2004). El examen «de lo primo» o «de lo blanco», servía para averiguar quienes sabían construir obras de mampostería, cantería y hacer tasaciones además, por supuesto, de saber leer y escribir, que sería la carta que tendría Becerra.

El examen podía ser parcial o total, variando según el contenido del temario. Esto provocó diversas calidades de maestros examinados. Entre los temas se encontraban: saber «formar una casa con todo cumplimiento»; localizar el sitio más adecuado para los edificios; diseñar su fachada y proporciones según las condiciones de sanidad del lugar; conocer la proyección, trazo y construcción de los arcos; saber hacer todos los géneros de bóvedas o capillas «como son de crucería o acabadas, capillas enregidas, capillas de aristas, capillas vaídas, capillas de todos géneros . . . »; calcular el grueso y la profundidad de desplante de los muros a partir de una altura dada; cuantificar los tejados y hormigones; colocar solería de todos los géneros; atar cuatro portales, hacer escaleras de muchas ideas cuadradas, prolongadas; fabricar un caracol de ojo abierto y otro caracol de macho; hacer chimeneas francesas y castellanas; cortar un pilar antorchado, hacer otro de cinco cuartones y forrar de azulejo, hacer a aliares, revocados de junto y entrejunto (A.H.D.F. Arquitectos 1745, vol.380: 22–30).

Pero en este punto, debido a la claridad con que se expresan las Ordenanzas de Puebla de 1605 con respecto al examen y los conocimientos que el maestro debía tener para alcanzar su carta de examen y ejercer el oficio de constructor, nos ha parecido importante incluir una trascripción de algunos puntos de este texto. El documento no solo tiene importancia por si mismo, sino también por los datos que nos aporta sobre la completa formación que tendría el maestro de albañilería y cantería y, por tanto, los conocimientos que Francisco Becerra tendría en este momento. Sabemos además, que se sometió al citado examen para poder ejercer el cargo de maestro mayor de la catedral de Puebla, pues tuvo que enfrentarse a otros profesionales del gremio.[6]

Para saber exactamente como sería el examen al que debió someterse Becerra, vamos a adjuntar una selección de algunas ordenanzas que aluden a las pruebas a las que sufrieron los aspirantes a maestros, o de aquellos maestros que habían obtenido el título en España y debían pasar una nueva prueba para poder ejercer su oficio en la Nueva España (A.M.P. 1605, S. 5, vol. 31):

> Primeramente, que el tal maestro que se examinare sepa hacer las mezclas según el oficio o edificios que tomare a cargo de lo hacer sin ningún defecto e que sepa labrar de la mano e plomo e a peso e lleno e bien trabajado e limpio.[7]
>
> Otro si, ordenamos que el dicho maestro sepa formar una casa común en cuadrado que tenga palacio e portales e otros miembros que el señor de la casa demandare, dándole las anchuras, alturas a cada miembro de estos según pertenece e gruesos de paredes e sacándole las zanjas que pertenezcan a cada miembro y sepa darle el fundamento según la sustancia de cada tierra.
>
> . . . ordenamos y mandamos que el dicho maestro sepa edificar una casa principal que tenga salas e cuadras e cámaras e recámaras e patios e recibimientos e todas las

otras piezas que el señor de la casa demandare sabiéndole dar anchuras e longuras e alturas e grosuras de paredes y sacar zanjas que convengan a cada miembro e sepa trabar esta obra susodicha así de la mampostería como la albañilería e saberle dar sus rafas y esquinas según convenga.[8]

. . . que el dicho maestro sepa tejar e hacer canales maestras e lunas de todas formas y encalar y celar e hacer lo demás perteneciente al dicho oficio.[9]

. . . que sepa hacer arcos grandes e pequeños aguardedos a peso así redondos como escaldaños [10] e terciados e cuarto y sarponel [11] y arabi [12] y sepa darles la gordura a las roscas e darles a cada uno sus estribos, según le convenga e asentar puntos e baiveles [13] según cual les pertenece e saberle darles sus salmeres a cada uno según les conviene, y sepan hacer sus pilares ochavados e redondos y antorchados y asemarles sus basas e capiteles a cada uno según le convenga.

. . . que sepa forman todo género de escaleras así cuadrada como perlongada o de caracol sabiéndoles dar sus cajas y almache del caracol la que se conviene e sepa darle su huella e altura con sus mesas cuadradas según le pertenezca a cada cosa, conforme a la disposición de lo que hiciere.

. . . que el dicho maestro sepa hacer chimeneas dándole su razón e seno aquello e gargante según la disposición de la chimenea que así hiciere.

. . . sepa solar un patio con 4 portales e los sepa solar e atar a todos 4 juntos e solarlos de junto cerrado o de cualquier género de suelo que se le pidiere o de revocado.

. . . sepa ordenar una iglesia de 3 naves con sus pilares e su capilla principal, y sepa hacer los pilares y arcos con sus responsiones dándoles la gordura e grosuras e larguras e alturas o sacar las zanjas según conviene dándole su razón a cada nave e capilla e cuerpo de la iglesia así para carpintería como para crucería.

. . . sepa hacer las capillas siguientes: ochavada, cuadrada así de arista como de crucería, e de 5 claves de lazo o de otras muchas maneras e le sepa dar sus gorduras para las paredes según la anchura que tuviere e altura e zanjas e sepa e otras cosas que convienen a las dichas capillas con los arcos torales.

. . . separa hacer una pila ochavada y una alberca de argamasa, sabiéndole dar las zanjas e sepas [14] según conviene, e sepa llevar un agua de esta pila a la alberca como de la fuente con su cañería o atarjea y saberle hacer sus cajas y almacenes e sangraderas según convenga y limpiar esta cañería.

. . . maestro que sepa hacer una noria e una presa e sepa darle la hondura del agua, asentar la rueda y saberle dar la anchura y saberle echar sus arcos y empedrarla según conviene.

. . . sepa hacer un monasterio según orden que fuere demandado con su iglesia, claustro e celdas e dormitorios e refectorio e capítulo e todas las demás cosas pertenecientes a la casa e sepan darles ramos de todo ello, según sustancia de cada cosa así alturas como larguras.

. . . sepa hacer un puente con sus arcos e pretiles e ramales e empedrarlo e darle sus corrientes e zanjas para fundarlo e sepa hacer sus tajamares a cola según conviene a la dicha fuente.

. . . sepa hacer un molino de pan o de cubo o de canal e saberle dar su saltino según conviene y sepa hacer sus bóvedas y atajeas aguadas e colas e cajas e zanjas que convengan e saberle respaldar.

. . . sepa hacer un molino de aceite e hacerle su torre almacén y hornillas e todo lo demás que pertenece.

. . . sepa hacer una fortaleza con todas las defenciones que le pertenezca que se entiende muros e contramuros e su barbacana e torre redondas e cuadradas e ochavadas con su homenaje agilitado e almenado e baluarte e troneras altas e bajas do pertenezcan y sus cavas hondas e alombardadas según conviene, a sus puertas bien ordenadas para la dicha defención de la fortaleza e sus puertas levadizas e sepa dar las grosuras a los muros que les convengan e a las zanjas y las alturas que pertenece a cada cosa e sepa hacer albijes [15] e minas e contraminas.[16]

. . . sepa edificar una casa real con sus salas, cuadras, cámaras y recámaras, e patios e todos los miembros que le pertenecen para casa de rey e sepa hacer sus ventanas con sus asientos e de otras diversas maneras según que al tal edificio pertenece.

. . . que ningún oficial que no fuere examinado y hábil en el arte susodicha de albañilería que no tome ningún aprendiz para le enseñar so pena de 10 pesos de oro de minas aplicados según dicho es.[17]

. . . que estando el tal aprendiz aprendiendo el dicho oficio de albañilería con su maestro por contrato o escritura o conveniencia no haciéndole demasía ninguna, ni habiéndose causa legítima por do se ausente de su maestro, que sea obligado si se ausentare a cumplir el tiempo de nuevo que puso con su maestro si se ausentare antes de cumplir el dicho tiempo e pierda lo que hubiere servido e torne a servir de nuevo.

. . . que ningún oficial que no fuere examinado no pueda hablar ni hable en remate de las obras ni se le reciba bajo ninguna que los tales dieren so pena de 20 pesos de minas, porque si el tal maestro o maestros tornasen las tales obras por remate o a su cargo sería hacerla no bien hecha como debe y es daño de la tal obra e perjuicio de los señores de ella y de la República.

. . . que ningún oficial que no fuere examinado del arte e facultad de albañilería e teniendo su carta de ello que fuere examinado según dé la razón que diere no sea osado de labrar en esta ciudad más de dos meses y si la la-

brare los dichos dos meses sea debajo de mano de maestro, so pena que pague el daño que se hiciere en las tales obras que tomare a su cargo o ya sea a destajo o ya sea a jornal o ya sea tasación por ninguna vía los pueda tomar a hacer a su cargo so pena de 20 pesos de minas e 10 días en la cárcel.

. . . que ningún oficial de albañilería pueda tomar obra de carpintería de ningún género que sea si no fuere estando examinado de la dicha carpintería y si estuviere examinado de la una facultad y de la otra en aquella parte que llegue su examen pueda usar los dichos dos oficios e hacer tasa e dos condiciones e salir a remates e dar bajas en cualquier obra que saliere como tenga facultad e de examen de ello.

. . . que todos los oficiales de carpintería y albañilería que estuvieren en términos de esta ciudad y haciendo obras no siendo examinados así en esta Nueva España como en los Reinos de Castilla que no puedan labrar en ninguno de los dichos oficios sin venir a examinarse a esta ciudad so pena de 20 pesos de minas repartidos según dicho es.

. . . que cualquier oficial que viniere a examinar de lo tosco o bastardo pague al alcalde y examinadores 6 pesos de oro común e 2 pesos de limosna para la caja y si se examinare de lo primo pague al dicho alcalde de examinadores 8 pesos de oro común e más los 2 pesos de limosna para la dicha caja e más le pague su trabajo al escribano, el cual dicho dinero llevan los veedores e alcalde por iguales partes el cual salario ordenamos que se lleven e hagan por su afán e trabajo por cuanto son maestros de albañilería e carpintería e habiendo de examinar pierden de su trabajo o de hacer sus obras e ganancias mas no haciendo el dicho examen que el dicho escribano asimismo lo halla y lleve por su trabajo e no les lleven más so pena de 10 pesos de minas aplicados según dicho es.

. . . que ningún oficial ni otra cualesquier persona pueda salir a remate de ninguna obra así de carpintería e albañilería ni dar baja a ellas ni tomarle por iguala ni amaestrarla ni hacerla jornal en ninguna manera sino fuere oficial examinado de los dichos oficios so pena de 50 pesos de oro común aplicados la una parte para la cámara de su Majestad, la otra parte para obras publicas de esta ciudad y la otra para la caja del oficio y la otra al denunciador asimismo sean aplicadas todas las demás penas que se aplicaren a dicho oficio.

. . . que cada y cuando que se hubiere de examinar algún oficial de los dichos de carpintería y albañilería, el alcalde, veedores y examinadores lo hagan saber a los fieles ejecutores porque de uno de ellos o entre ambos se hallen presentes al dicho examen con el escribano de cabildo y lo contrario haciendo paguen 10 pesos de oro de minas aplicados según dicho es.

. . . Todo se guarde y cumpla desde hoy (. . .) con declaración que no se entienda con los indios carpinteros, ni albañiles por que estos han de usar su oficio libremente.

Don Rodrigo Maldonado, Diego de Villanueva, Diego de Ojeda, Andrés Pérez, Alonso Coronado, Pedro Díaz de Aguilar, Alonso de Soria, ante mi Diego de Anzurez escribano de cabildo (A.M.P. 1605, S. 5, vol. 31).

Después de lo expuesto podemos afirmar que Becerra estaba muy bien preparado y quizá por ello sería elegido como maestro mayor de la catedral poblana, es decir, la obra más importante que se debía realizar en la ciudad. Sabemos que se sometería a un examen junto con otros artistas de su misma titulación y ganó el concurso, demostrando los conocimientos que tenía y que había adquirido durante su formación y trayectoria artística en España antes de su llegada a las Indias.

Esa experiencia del arquitecto trujillano sería, sin duda, el principal aval para poder ejercer este trabajo. Por otra parte, si analizamos algunos de los datos que nos ofrecen estas ordenanzas, entre las exigencias que se pedían para ser un buen maestro decía: hacer mezclas, labrar a mano, construir casas comunes, palacios, arcos de todo tipo, pilares, capiteles, todo género de escaleras, chimeneas, solar un patio con cuatro portales, ordenar iglesias de tres naves con su capilla mayor, saber hacer diferentes géneros de capillas, pilas, albercas, fuentes, presas, monasterios, puentes, molinos, fortalezas e incluso construir una casa real, . . . De todo lo enumerado, podríamos citar una a una las labores que Becerra realizó durante su vida, y sabemos que participó en la construcción de todos estos elementos constructivos y géneros de edificios. En Trujillo trabajó en iglesias, como la de Santo Domingo, aunque no serían de tres naves hasta su llegada a la Nueva España, cuando realiza las grandes catedrales. También realizaría monasterios como el de la Concepción Jerónima, aunque participaría en obras de todas las órdenes religiosas, no sólo en Trujillo, sino por toda Iberoamérica. A su vez le encontramos trabajando en puentes como el del Magasquilla de Trujillo, presas como la Alberca, molinos abovedados de cantería como los adosados a la misma presa, escaleras como las del Palacio de Rol Zárate, todo género de capiteles, arcos, pilares, e incluso chimeneas como la del Pala-

cio de Gonzalo de las Casas, que también es obra de su mano. En cuanto a las fortalezas y las Casas Reales, Becerra no tiene oportunidad de trabajar en ellas hasta su última etapa, en la Ciudad de los Reyes. Y por supuesto, finalmente debemos destacar sus obras principales, las catedrales de los virreinatos de Nueva España y Perú.

Por tanto, cuando Becerra llega a la Nueva España, tendría una formación bastante completa que le ayudarían a alcanzar el puesto de Maestro Mayor de la catedral poblana en 1575 y su nombramiento como Alarife y fiel de la ciudad de Puebla (A.M.P. 1576, Leg. 10: 194), el año siguiente, cuyas funciones y obligaciones las analizaremos después con más detenimiento.



Figura 2
Portada del mismo palacio

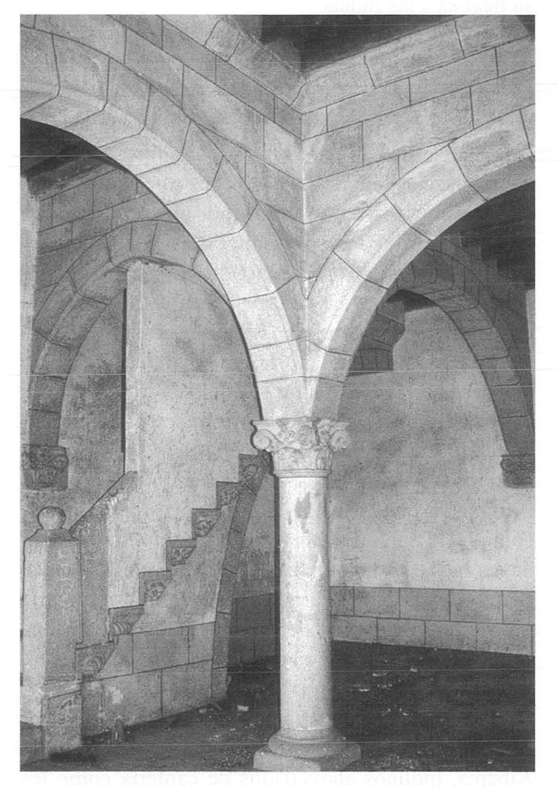


Figura 1
Escalera y soporte del Palacio de Gonzalo de las Casas de Trujillo, obra de Francisco Becerra

Notas

1. Ibid. Fol. 6.
2. Ya veremos como en el caso de Francisco Becerra serán esenciales para ejercer el cargo de arquitecto en las Indias estos dos requisitos, ser de familia cristiana, y no pertenecer a la rama de los Pizarro.
3. « . . . se encarga a Alonso y Francisco Bezerra, maestros de cantería, vecinos desta ciudad de Trujillo, para que la hagan conforme a la traza, que está firmada del señor visitador y dellos, y conforme a estas condiciones como en ellas se contiene, . . . » (A.P.T. *Pedro de Carmona* 1566, Leg. 10: 707v).
4. De acuerdo con la Ordenanzas de Albañilería de la Ciudad de México de 1599, el trabajo del constructor era considerado como un oficio. En el siglo XVIII la Real Academia de San Carlos lo reconoce como un arte y de acuerdo con la Ley de Instrucción Pública del Distrito Federal, en el siglo XIX se define como una profesión.

5. La excepción estaba prevista en la Ordenanza número 12 « . . . se hace declaración que las tales personas que en esta ciudad hubieren usado el dicho oficio de doce años a esta parte, se entienda que deben gozar y gocen de todo lo que gozan los que son examinados y hacer y usar libremente de lo que los usan sin estar obligados a examen . . . ».
6. « . . . vió quel dicho Francisco Bezerra usaba y se ocupaba en ser maestro mayor de la obras de aquella cibdad, especialmente en la obra de la iglesia mayor, el qual la sacó de cimientos y fabricó y traçó de obra muy buen edificio, y el dicho cargo le dieron en competencia y exsámen de otros muchos officiales de su arquitectura y a él, como más suficiente y de más abilidad, se la dieron la dicha obra y cargo de maestro mayor, y fue prefferido a los demás officiales de su corte (sic) y bido este testigo que fundó y edifycó en la dicha iglesia mucha obra muy costosa e de mucho fundamento . . . » (A.G.I. *Patronato*, 191. 1585, 63).
7. La «mezcla real» era con un huacal de cal y otro de arena. La «segunda mezcla» era con uno de cal y dos de arena. La «mezcla fina» consistía en uno de cal y otro de arena cernida, «si sale ésta, o de ésta medio cajón de granzas, se le vuelve a echar ese medio cajón de cal». La «mezcla de aplanar» era con uno de arena y otro de cal, «se revuelve primero y luego se cierne uno y otro». La «mezcla terciada» o «de cimientos», prudencialmente tres cajones de cal, seis de arena y 12 de tierra. (Díaz 2002, 112; Schuetz 1987, 84).
8. Fuerza de cal y ladrillo o piedra que se pone entre tapia y tapia para la seguridad de la pared, o para reparar la quiebra o hendidura que padece. Por tapia se entiende el trecho de pared de determinada medida que se hace de tierra, pisada en una horma y seca al aire.
9. Encubrir, ocultar.
10. Puede se trate de arcos escarzanos.
11. Es decir, arco carpanel.
12. Debe decir árabe, o sea arco de herradura.
13. Baivel, regla o cercha es una tabla cortada de suerte que forme un ángulo mixtilíneo igual al que hacen los lechos de las piedras en un arco, con la superficie cóncava del mismo.
14. Sepas, querrá decir cepas, que significa zanja.
15. Será aljibes.
16. Mina es un conducto artificial subterráneo, que se encamina y alarga hacia la parte y a la distancia que necesita, para los varios usos a que sirve, que el más común es para la conducción de agua. La contramina es una mina que se hace en oposición a otra para que no haga efecto.
17. 4.500 maravedíes

Lista de referencias

Archivo de Protocolos de Trujillo. Pedro de Carmona. 1566. Concierto entre Pedro Martínez, mayordomo de la iglesia de Sto. Domingo y Alonso Bezerra y consortes, canteros, 9 de Noviembre, 1567.

Archivo General de Indias. Patronato, 2 de abril de 1585. *Información de Méritos y Servicios pedida por Francisco Becerra.* Interrogatorio y Prueba Testifical. 191. ramo n° 2.

Archivo Histórico del Distrito Federal. Arquitectos. 1745. Exp. 1. México.

Archivo Munivipal de Puebla. 1576. *Actas del Cabildo.* Legajo 10. Acuerdos del 16 de Enero, fol 194 y v.

Archivo Municipal de Puebla. 1605. *Testimonio de las ordenanzas de los carpinteros y alarifes formadas por esta nobilísima ciudad de Puebla y confirmadas por el superior gobierno el año de 1605.* Serie 5, vol. 31.

De Barrios Lorenzot, F. 1921. *El trabajo en México durante la época colonial. Ordenanzas de los Gremios de Nueva España.* México.

Días Cayeros, P. 2002. Las ordenanzas de los carpinteros y alarifes de Puebla. *El mundo de las catedrales novohispanas.* Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.

Fernández, Martha. 1985. *Arquitectura y Gobierno Virreinal. Los Maestros Mayores de la Ciudad de México, siglo XVII.* Instituto de Investigaciones Estéticas. UNAM. México.

Fernández, Martha. 1986. El albañil, el arquitecto y el alarife en la Nueva España. *Anales del Instituto de Investigaciones Estéticas.* Volumen 14, n° 55. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Marías, Fernando. 1979. El problema del arquitecto en la España del siglo XVI. *Boletín de la Real Academia de San Fernando*, n° 48. Madrid.

Marías, Fernando. 1983–1986. *La arquitectura del Renacimiento en Toledo (1541–1631).* 4 Volúmenes. IPET-CSIC, Toledo-Madrid.

Paz Arellano, P. 2004. El examen del constructor (1599–1785). *Boletín de Monumentos Históricos.* Tercera Época. N° 2. México.

Pizarro Gómez, F. J. y Mogollón Cano-Cortés, P. 1999. *Los X Libros de Arquitectura de Marco Vitruvio Polion.* Traducción Castellana de Lázaro de Velasco. Cicon Ediciones. Cáceres.

Schuetz, M. K. 1987. *Architectural practice in Mexico City. A Manual for a Journeyman Architects of the Eighteenth Century.* The University of Arizona Press. Tucson.

Le tecniche costruttive nelle torri campanarie della Sardegna (XI-XIX sec.) a confronto con i contemporanei modelli italiani e spagnoli

Donatella Rita Fiorino

L'architettura campanaria non vanta in Italia una bibliografia fatta di studi organici e di carattere scientifico in grado di ricostruirne, anche per grandi linee, la nascita e l'evoluzione nell'ambito della più generale storia dell'architettura. Se si escludono alcuni sporadici tentativi di trattazione del tema,[1] lo stato dell'arte può essere circoscritto ad approfondimenti occasionali o a studi su episodi isolati, spesso illustri, ma che non rendono giustizia della reale portata del valore culturale, territoriale e paesistico intrinseco di tali edifici.

Considerati semplici appendici dei complessi religiosi, i campanili, più o meno monumentali per dimensione ed impatto scenografico e ambientale, hanno invece spesso vissuto vicende autonome e significative. Definiti anche «i lampadari spenti nel cielo di città e paesi», essi costituiscono «l'araldica dell'esaltazione civica»,[2] polarità urbane di grande valore storico e urbanistico, gemmazioni stesse del paesaggio. Pertanto, il loro riconoscimento travalica il confine amministrativo per entrare nella dimensione del *paysage culturel* riconosciuto dall'UNESCO patrimonio mondiale dell'Umanità.

Alla luce di tali premesse si è intrapreso lo studio sistematico delle architetture campanarie in Sardegna, un patrimonio variegato e diffuso capillarmente su tutto il territorio regionale. Il problema basilare è stato quello della 'conoscenza', in quanto ci si confrontava con una produzione architettonica trascurata e talvolta compromessa da incauti interventi di consolidamento. Data la vastità delle argomentazioni, piuttosto che di una analisi conclusa, si deve parlare di definizione di filoni di ricerca che potranno essere ulteriormente indagati in successivi lavori di approfondimento. La varietà e vastità del tema individuato ha costituito, però, un interessante banco di prova per la sperimentazione di una metodologia di censimento, inventariazione e monitoraggio dei beni architettonici applicata al caso dei tematismi, basata sul concetto di tipologia, utilizzato come parametro di conoscenza dinamico e versatile, che supera le rigidezze e le limitazioni che questo strumento aveva assunto in non recenti connotazioni.

Il 'tipo' si configura, non più come 'punto di arrivo' della ricerca, ma come strumento di razionalizzazione delle conoscenze di un vasto territorio quale quello sardo, al fine di porre in risalto i caratteri ripetitivi di un'area, i legami con i modelli importati e, nel contempo, le varianti singolari che rendono le chiese sarde un *unicum* nella storia dell'architettura italiana. In quest'ottica la definizione di classi tipologiche non è uno strumento di omologazione, quanto di riconoscimento delle originalità e delle varianti dell'opera analizzata dal modello.

Il sistema codificato si presta, inoltre, alla traduzione della raccolta di notizie in linguaggio informatizzato, come, appunto, quello delle basi di dati, rendendo agevole la correlazione e l'interrogazione delle informazioni acquisite e archiviate.

Lo studio dell'architettura campanaria sarda, per la complessità interpretativa e la varietà di manifestazioni artistiche, si rivela, anche in questo senso, inte-

ressante banco di prova della metodologia di impiego delle banche dati. La cultura medievale ha posto le basi, anche fisiche, alla tecnica della costruzione a torre, ma la cultura trionfalistica del Seicento e del Settecento ha completato questi edifici, aggiungendo alla struttura una ricca sovrastruttura di segni e significati aggiornati. Da qui la necessità di ricavare uno strumento in grado di registrare e gestire le informazioni relative ad oggetti architettonici, talvolta anche molto diversi tra di loro.

Le tipologie di torre campanaria, oltre il tipo 'a vela', sono state definite a partire dal tipo di coronamento: coronamento 'piano' (TA); coronamento 'a guglia' (TB); coronamento con cupola 'a duomo' (TC); coronamento con cupolino 'a cipolla' o 'a corona imperiale' (TD).

Il campanile 'a vela' rappresenta la tipologia più semplice e cronologicamente più antica di struttura campanaria. La sua morfologia rimane costante, tagliando trasversalmente tutta la cronologia dell'architettura sarda, con continuità dal Medioevo al Novecento. L'unica variazione risiede nel numero di fornici che, al di là del risultato formale, risponde al requisito funzionale di variare il numero delle campane. Ciò che muta nell'evoluzione cronologica non è, dunque, la morfologia, bensì la sovrastruttura decorativa.

La tipologia 'TA' raccoglie tutte le torri composte da uno o più ordini quadrati o poligonali conclusi da coronamento piano o con tetto a capanna. Cronologicamente questa tipologia è associata ad un ampio arco temporale, che va dal XV al XVII secolo. Essa è stata utilizzata in Sardegna per la prima volta in occasione dell'edificazione della torre campanaria della chiesa di San Giacomo a Cagliari. Il modello si è successivamente diffuso in tutta l'area meridionale dell'isola, grazie alla attività delle maestranze cagliaritane, operanti anche fuori, fino ad arrivare alle diocesi nuoresi. La caratterizzazione costruttiva di manufatti riconducibili a queste maestranze è tale da poter parlare di vero e proprio ambito culturale.

Oltre al succitato caso cagliaritano, gli esempi sono tutti di impianto tardo cinquecentesco o di primo Seicento, e caratterizzati da un forte influsso gotico catalano, come il campanile della chiesa di Sant'Antioco a Nurri, isolato dal corpo chiesa, realizzato entro la metà del XVII secolo.

La tipologia 'TB' raccoglie le torri composte da uno o più ordini quadrati o poligonali conclusi da coronamento 'a guglia'. Cronologicamente questa tipologia è associata al modello di campanile diffusosi nella costa levantina e importato in Sardegna dalle maestranze catalane a partire dal XVI secolo.

Trova diffusione soprattutto nell'area nord-occidentale dell'isola, per l'influsso dei due più significativi modelli algheresi della cattedrale e della chiesa di San Francesco caratterizzati dalla presenza di 'gattoni', elementi decorativi lapidei che si dipartono dagli spigoli della piramide, lavorati a motivi geometrici o fitomorfi. Un altro modello, fonte di filiazione morfologica, è il San Pantaleo di Macomer, opera di Michele Puig.

La guglia viene ancora riproposta nel Settecento, secondo i dettami formali delle esperienze sabaude. L'unico caso è rappresentato dalla torre campanaria della parrocchiale di Santa Maria di Monserrato a Barisardo (NU), con guglia a base quadrata e spigoli inflessi.

La tipologia 'TC' comprende le torri composte da uno o più ordini quadrati o poligonali conclusi da coronamento con cupola 'a duomo'. Cronologicamente essa è associata al modello di campanile diffusosi nei secoli XVII e XVIII. Trova diffusione in tutta l'isola, ma soprattutto nel meridione nell'orbita di Cagliari. In questo senso, grande influsso ebbe la diffusione della cupola ottagonale nelle più importanti fabbriche cittadine, come la cattedrale e la chiesa del Noviziato gesuitico di San Michele.

La tipologia 'TD' include le torri composte da uno o più ordini quadrati o poligonali conclusi da coronamento con cupola 'a cipolla' o 'corona imperiale'. Cronologicamente essa è associata al modello di campanile importato dal 1720 dai tecnici sabaudi attraverso il modello ligneo per la basilica di Bonaria e il sopralzo del campanile della cattedrale di Oristano. Il modello ha poi trovato diffusione capillare in tutta l'area oristanese, sia nelle nuove realizzazioni, che nelle riconfigurazioni e nei sopralzi. La forma è associata all'uso del laterizio, materiale caro alla tradizione piemontese, che consentiva la realizzazione di tali manufatti.

La torre campanaria in Sardegna è raramente un organismo isolato, ma, per sua natura, costituisce un interessante elemento contraffortante, che le maestranze usavano per appoggiare gli archi maestri delle coperture delle chiese. Ciò si verificava specialmente nelle torri edificate secondo un progetto unitario rispetto alla chiesa, dove le due strutture costituiscono un unico grande sistema strutturale.

Sono stati riscontrati quattro differenti modelli di collaborazione strutturale. Il modello più diffuso è quello della torre disposta in facciata. Frequente è comunque anche il modello che prevede la collaborazione tra la torre e la chiesa lungo uno dei prospetti laterali. Questa soluzione è, peraltro, quella che si è venuta a creare nel caso di torri originariamente isolate successivamente circondate da strutture annesse in alte fasi costruttive. La distribuzione degli spessori murari alla base della torre, variabili tra 80 e 150 cm, è risultata essere direttamente correlabile ai rapporti di collaborazione strutturale precedentemente individuati e implicitamente dipendenti dai rapporti cronologici.

Data la complessità costruttiva e la durata del cantiere, sovente procrastinata nel corso dei decenni, se non addirittura di secoli, oggi le torri campanarie costituiscono libri di pietra che, dal basso verso l'alto, svolgono il tema dell'evoluzione dei magisteri costruttivi. L'analisi delle murature sulle torri presenta, perciò, un palinsesto molto ampio di materiali e tecniche costruttive per gran parte ancora poco studiate.

La ricerca ha preso avvio dalla lettura stratigrafica ed archeometrica di alcuni paramenti murari scelti come campioni significativi. La selezione è stata fatta sulla base dell'autenticità del paramento, in quanto pervenuto pressoché inalterato, e dalla possibilità di esprimere una cronologia attendibile per la presenza di elementi diretti di datazione sul paramento, come lapidi o iscrizioni, o perché supportati da documentazioni archivistiche specifiche e complete.

Tra gli edifici analizzati, si è dato risalto a quelli che hanno rappresentato un modello formale e costruttivo che si è poi diffuso nel territorio di pertinenza per la circolazione delle maestranze o perché esplicitamente indicato a modello dalla committenza: non è raro trovare negli atti notarili redatti durante la dominazione spagnola, il preciso richiamo all'edificio prescelto dal canonico o dal signore locale, ad imitazione del quale le maestranze erano chiamate ad attenersi nella costruzione del manufatto.

L'attenzione si è concentrata sulle cattedrali di Cagliari (figs. 1–2) e Sassari (fig. 3) per il periodo romanico-pisano e lombardo con uno sguardo verso altre realizzazioni significative, come la basilica di San Pantaleo a Dolianova (CA). Il primo periodo catalano-aragonese trova la sua più autentica testimonianza nella torre della basilica di Bonaria a Cagliari, edificata tra il 1324 e il 1325, all'arrivo del primo presidio aragonese in Sardegna. A partire dal 1438 il modello più diffuso sarà quello riscontrabile nell'episodio cagliaritano della chiesa di San Giacomo, che ha dato il via alla genesi di torri tipologicamente e morfologicamente conformi al modello in tutto il Campidano.

I sistemi costruttivi, da questo momento in poi, rimangono pressoché costanti, come evidenziano le torri delle parrocchiali di Iglesias, Collinas e Sardara.

Il Settecento, segnato dalla presenza degli ingegneri regi, porta il primo momento di novità in quanto, accanto al proseguire nell'uso del paramento lapideo, compare il laterizio, caro alla tradizione sabauda, anche se in Sardegna compare sempre intonacato a causa della forte aggressione salina cui è sottoposto e della imperfetta tecnica di produzione, tipica di una regione in cui le maestranze non hanno avuto il modo di elaborare una specifica tradizione produttiva. I tre secoli di dominazione catalana avevano infatti radicato nella cultura sarda l'abilità dei *picapedres*, incentivata dalla malleabilità e diffusione di arenarie ben lavorabili. Il maggior numero delle opere realizzate in laterizio sono invece concentrate nell'oristanese, zona particolarmente ricca di argille, e baricentrica tra Alghero e Cagliari, dove si registra la più alta frequenza di tecnici sabaudi.

Le tecniche costruttive ereditate da secoli di attività dei *gremi*, trovano continuità anche nell'Ottocento, come permanenza del 'saper fare' locale, e nel Novecento come *revival* e richiamo ideologico di valenza culturale.

Una preliminare indagine materica ha confermato le teorie dell'esistenza di una stringata corrispondenza tra luoghi di produzione e materiali impiegati. Ciò non induce alcun stupore, se si tiene conto che, in un contesto di economia povera come quella sarda, doveva necessariamente preferirsi l'impiego del materiale locale. Esistono pertanto delle forti polarità nella diffusione geografica dei materiali usati nell'architettura sarda.

L'analisi dei paramenti murari nell'architettura campanaria ha confermato il largo impiego del materiale lapideo, giustificato dalla consolidata tradizione artigianale sarda nella lavorazione della pietra, e richiesto dalle prestazioni strutturali necessarie per garantire la staticità di edifici snelli come le torri.

Mentre la scelta del materiale, essendo prevalentemente legata a fattori 'di luogo', prescinde dalla cronologia, il sistema costruttivo dipende da fattori 'di

tempo' e 'di moda'. Si osserva, pertanto, una variazione nella dimensione e nella disposizione dei conci lapidei, pur in presenza della costante materica.

Un discorso a sé è, invece, l'uso del laterizio, impiegato in Sardegna dal periodo romano, in particolare nei complessi termali di Nora (CA), ad Ussana, al Forum Libisonis Porto Torres (SS). Successive esperienze di impiego si ritrovano in periodo bizantino — Santa Maria di Mesumundu a Siligo — e nell'unico esempio romanico del San Nicola di Quirra — Villaputzu (CA).

La rinascita della tecnica in periodo sabaudo è documentata da pregevoli realizzazioni, quali il campanile della chiesa parrocchiale di Barisardo, la chiesa ed il convento del Carmine ad Oristano, la sagrestia del duomo di Sassari, l'abside della chiesa della Misericordia ad Alghero. In particolare, l'uso del laterizio è riservato prevalentemente alle volte, non solo in ambito di torri campanarie, e ai sopralzi.

Non a caso, nella torre campanaria della chiesa di Santa Sofia a San Vero Milis (OR), mentre tutte le murature sono rigorosamente realizzate in arenaria del Sinis, ben squadrata e apparecchiata alla piemontese, con commenti di malta ampi e regolari, le volte della camera dell'orologio e della cella campanaria sono in laterizio.

Unico caso di realizzazione muraria in laterizio è la torre della parrocchiale di Barisardo, edificio che fa storia a sé, in quanto il materiale era stato comprato e fatto pervenire direttamente dal Piemonte. Purtroppo non sono disponibili analisi strumentali a tal proposito, ma sarebbe interessante poter confrontare le risultanze con alcuni campioni analizzati prelevati dal portale Loffredo, un portale di campagna, costruito nel XVIII secolo, come tanti altri monumentali che vennero realizzati nello stesso periodo soprattutto nell'area dell'oristanese.[3] Le analisi di laboratorio mostrano un laterizio realizzato con argilla locale e di buona fattura, dovuto senza dubbio all'intervento di un 'saper fare' proveniente non dalle maestranze locali, ma da tecniche aggiornate.

La tecnica della produzione e impiego del laterizio continua nel XV secolo, anche con tecniche originali, come quelle riscoperte durante i lavori di restauro[4] delle ex carceri di Castiadas (CA), realizzate nel 1875. Il laterizio per la costruzione delle volte veniva preparato e messo in opera degli stessi carcerati. Singolari tecniche di volta ad archi portanti e scuffie di scarico sono state individuate per le volte del piano

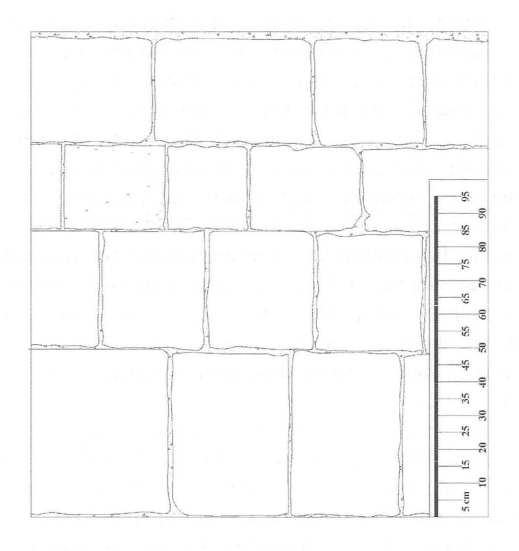




Figura 1–2
Il censimento dei paramenti murari: Cattedrale di Santa Cecilia, Cagliari, XIII sec., restituzione metrica e immagine del paramento murario alla base

superiore, mentre un tamponamento rivela l'originalità e vezzo della posa in opera con singolari allettamenti dei giunti inclinati a 45 gradi.

Lo studio dei paramenti è stato condotto analizzando gli aspetti morfologici e i caratteri archeometrici e stratigrafici. I due sistemi, entrambi validi, trovano nel confronto reciproco una significativa concorrenza alla comprensione del meccanismo murario. Il rilievo diretto delle porzioni murarie è stato infatti integrato dalla sintesi morfologica, al fine di verificare le ripetitività del modello nell'edificato contemporaneo e ipotizzare una prima possibilità di scansione cronotipologica che andrebbe poi verificata attraverso campagne di rilevamento quantitativamente più ampie.

La campionatura ha presentato diversi problemi, in particolare, la scarsa accessibilità ai paramenti nelle parti alte delle torri, la difficoltà a visionarne l'interno e l'assoluta assenza di letteratura o documentazione di vario genere — fotografica, archivistica — che potessero indirizzare verso la comprensione delle sezioni, né di demolizioni, smontaggi, crolli, carotaggi che ne offrissero una lettura diretta. Qualche indicazione è stata raccolta solo sulla base di brecce occasionali o attraverso valutazioni su affinità costruttive con altre emergenze già indagate. A questo si aggiunge la quasi totale indifferenza della pubblicistica scientifica locale in merito, se si esclude un prezioso accurato studio archeometrico condotto limitatamente alle murature algheresi.[5]

La tipizzazione delle murature[6] ha permesso di ricostruire l'evoluzione della tipologia di paramento riferita ai casi di studio. Il periodo romanico è caratterizzato da una muratura piuttosto regolare composta da conci ben squadrati e sottili giunti in malta di calce. La caratteristica peculiare è la presenza di conci di altezza maggiore della larghezza o di proporzioni vicine al quadrato.

Già dal XV secolo gli elementi lapidei vengono lavorati con dimensioni più ridotte e disposti secondo giaciture orizzontali con $h < l$. Dal XVI secolo compaiono paramenti meno omogenei dove, alla purezza delle superfici si preferisce l'aspetto coloristico delle varianti cromatiche del materiale, come si riscontra nella chiesa di Santa Chiara ad Iglesias o nella parrocchiale di Collinas.

Caratteristica legata alla buona prassi costruttiva e comune a qualsiasi epoca è l'uso di conci di grandi dimensioni alla base e di media e piccola dimensione man mano che si sale lungo la torre e la sezione si rastrema. È così nella Cattedrale di Cagliari, dove la variazione è poco evidente, ma comunque esistente, come nel cagliaritano San Giacomo, dove il basamento è rafforzato da grossi blocchi di calcare lavorati superficialmente a bugnato per accentuarne plasticamente la possanza.

In merito alle sezioni, le dimensioni medie variano da 150 cm alla base fino a 40 cm in sommità. Normalmente la prima rastrematura avviene al piano delle campane, seguita da una successiva nel caso in cui la torre abbia un altro ordine superiore dedicato per esempio alla camera dell'orologio. La rastrematura comporta cambio di materiale solo nei casi in cui la costruzione superiore sia cronologicamente sfalsata, ossia costituisca sopralzo. In questo caso le soluzioni riscontrate sono numerose: si passa dalla continuità mimetica del paramento della cattedrale di Oristano, al sopralzo con uguale materiale, ma tecnica costruttiva o dimensione dei conci e posa in opera chiaramente distinguibile da quella sottostante, come nel caso del campanile della cattedrale di Sassari. A Senorbì il sopralzo della torre campanaria della parrocchiale è realizzato in laterizio intonacato, altre torri conservano sovrastrutture in c.a., di cui è stata iniziata la demolizione nel corso degli interventi attuati negli ultimi dieci anni.

L'analisi archeometrica ha confermato e validato le tipologie di paramento ipotizzate, introducendo parametri complementari utili alla definizione di uno strumento di datazione. Per quanto sia prematuro parlare della identificazione di una definitiva cronotipologia per la interpretazione temporale delle murature, si può comunque affermare la applicabilità del metodo e la possibilità di giungere a risultati attendibili sfruttando l'isolamento delle maestranze e la ripetitività dei modelli.

In ogni caso è comunque da specificare che la sola muratura, proprio per la persistenza per secoli di meccanismi costruttivi consolidati e trasmissioni generazionali del sapere, non può costituire l'unico parametro di valutazione. Questo deve essere confrontato con il dato materico e formale, da qui, ancora una volta, la necessità di una correlazione superiore del dato attraverso il sistema informativo a chiavi di interrogazione multipla.

La torre presenta differenti soluzioni di orizzontamenti e collegamenti verticali (Figg. 4–5) in funzione per momento storico in cui è stata edificata.



Figura 3
Il censimento dei paramenti murari. Cattedrale di Sassari. Paramento del periodo romanico-pisano e lombardo con inclusione di scodelle ceramiche

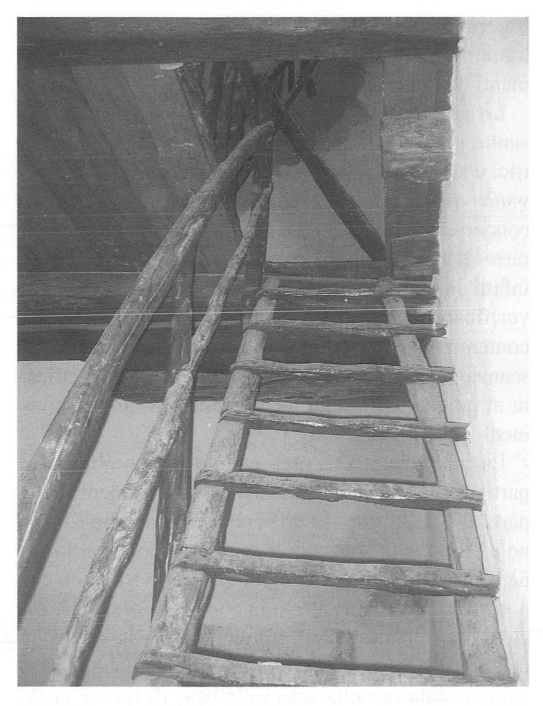


Figura 4
Cagliari, Torre campanaria della basilica di Bonaria. La struttura conserva la scala e il ballatoio al primo livello in legno di ginepro del XVII secolo con i bastoni di chiusura del parapetto conformati 'a fiamma', simbolo della fede secondo l'iconografia barocca

In periodo medievale predomina la soluzione con la scala ad elica in pietra fino al livello delle campane. Da qui, anche in corrispondenza della riduzione dello spessore delle murature, orizzontamenti e scale sono in legno, queste ultime allineate lungo le pareti della canna con cavedio centrale. Questa soluzione è si sposa con l'assenza di ambienti accessibili alla base in quanto molte torri risultavano isolate rispetto al complesso chiesastico.

L'avvento delle modalità costruttive importate da Barcellona vedono l'apertura di cappelle alla base della torre in corrispondenza dell'abside poligonale, come avviene nei due esempi di Alghero. La scala, pertanto, viene eretta in un cavedio laterale e poi si ricollega alla canna, una volta superata l'altezza della cappella. Lo schema già visto per Tarragona, si ripete nella torre campanaria della basilica di Bonaria a Cagliari.

Lo spostamento della torre in adiacenza alla facciata a partire dal San Giacomo di Cagliari, porta al-

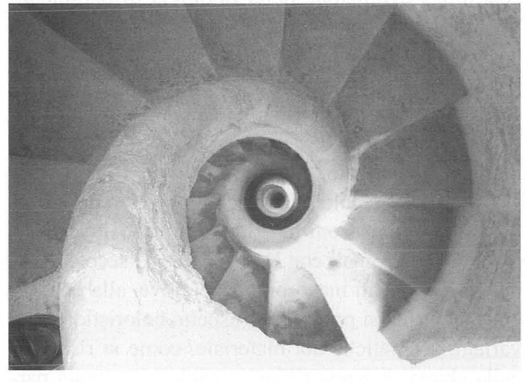


Figura 5
Sassari, cattedrale di S. Nicola. Caso esemplare di scala a elica con cavedio centrale è quello realizzato nel 1756 all'interno della canna quadrata (romanico-pisano del 1112) della torre campanaria

l'apertura al di sotto della torre di una cappella, solitamente voltata a crociera costolonata con gemma pendula centrale, e in genere dedicata ad accogliere il fonte battesimale. La cappella, allineata con le altre che vengono annesse all'aula delle chiese sarde specialmente intorno ai secoli XVI-XVII, si presenta più bassa e stretta a causa dei forti spessori murari alla base della torre (1.00–2.30 m) e per la collocazione del vano scala tra questa e la successiva cappella.

L'uso della scala ad elica con pilone centrale continua fino al XVIII secolo quando, con l'arrivo degli ingegneri sabaudi, cominciano a comparire le scale ad elica con cavedio centrale (Sassari, cattedrale) e ancora rettilinee su archi rampanti (San Vero Milis). Pur persistendo comunque l'uso parallelo degli orizzonatamenti e delle scale in legno, cominciano a comparire oltre alle volte delle cappelle, anche ai livelli superiori, interessanti volte in laterizio a botte (San Vero Milis) o ad ombrello (Oristano). In particolare, queste strutture sono impiegate nelle celle campanarie e le camere dell'orologio.

Una particolare tecnica di voltare gli ambienti è stata introdotta dai tecnici sabaudi (Figg. 6–7). Si tratta delle cosiddette volte a fascia, introdotta dagli ingegneri sabaudi trova significativa citazione della torre della chiesa parrocchiale di Barisardo. Utilizzata più propriamente nei grandi saloni per coprire luci imponenti, o negli atri (ex Seminario Tridentino),

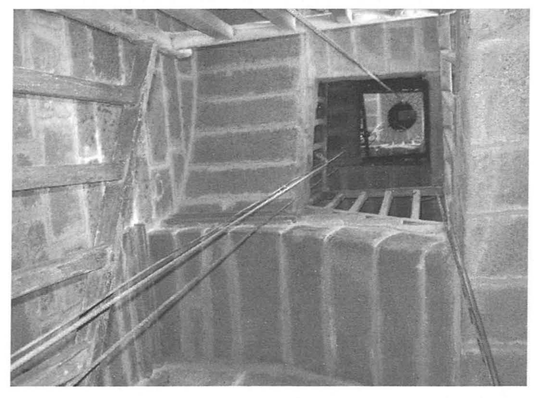


Figura 6
San Vero Milis (OR). Torre campanaria della chiesa di Santa Sofia. Scale e solai in pietra 'alla sabauda'. Si diffonde a partire dal 1720 la tecnica della scala interna con rampe su sistema ad archi in grossi elementi lapidei retti a contrasto

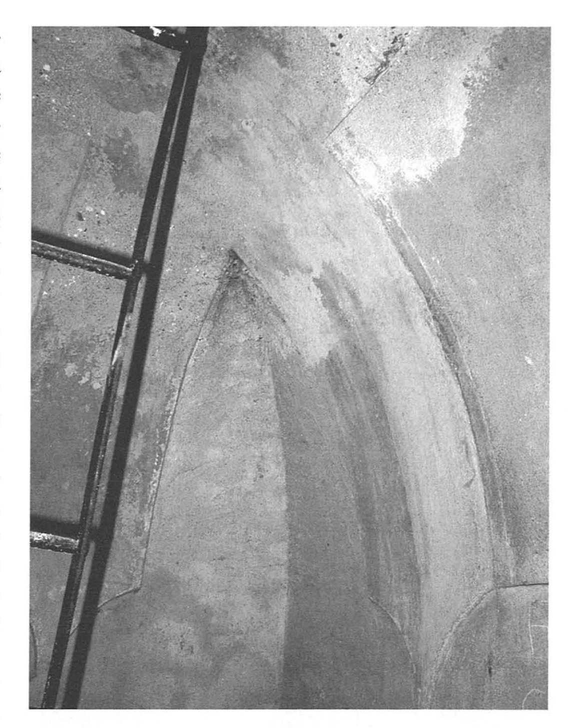


Figura 7
Barisardo (NU). Torre campanaria della parrocchiale

dove erano necessari ambienti molto ampi per il transito delle carrozze, le volte a fascia, come tecnica costruttiva di valenza anche estetica, viene impiegata anche nella limitata copertura della cella campanaria della torre.

L'attribuzione storico-critica effettuata dagli storici dell'arte ad un progetto di Giuseppe Viana, sarebbe così confermata anche da modalità costruttive che non potevano essere state già acquisite da maestranze locali. Infatti, le volte a fascia compaiono in ambiente cagliaritano nella biblioteca del complesso gesuitico di Santa Croce e nell'ex Seminario Tridentino attuale Palazzo dell'Università, realizzato a Cagliari negli anni fra il 1764 e il 1780 in cui il Viana aveva partecipato attivamente tra il 1772 e il 1777.[7] È dunque significativo ritrovare modelli costruttivi analoghi.

Gli interventi di consolidamento (Figg. 8–9) posti in atto dal Genio Civile negli anni del dopoguerra hanno portato alla sistematica modificazione di tante

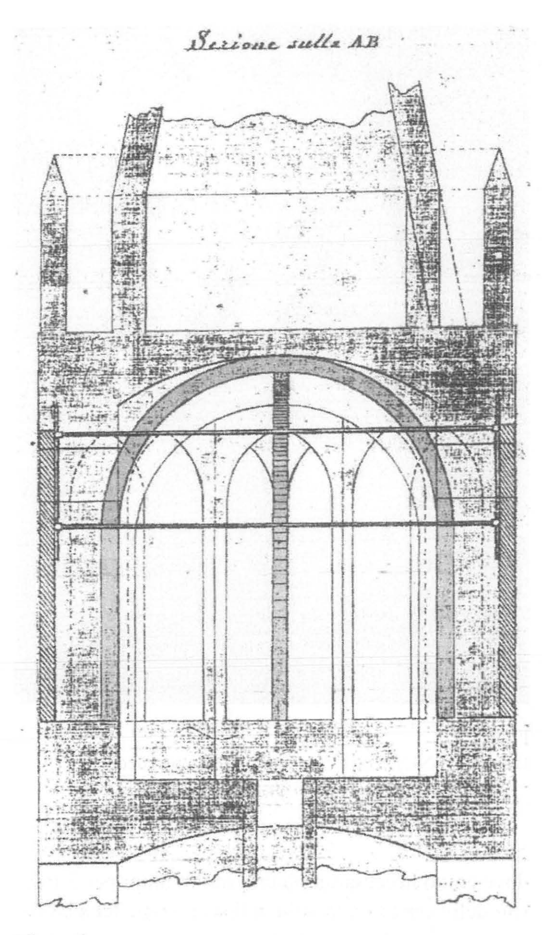


Figura 8
Progetto di consolidamento dell'ing. Pietro Cadolini, 15 febbraio 1877 (Archivio Storico del Comune di Alghero)

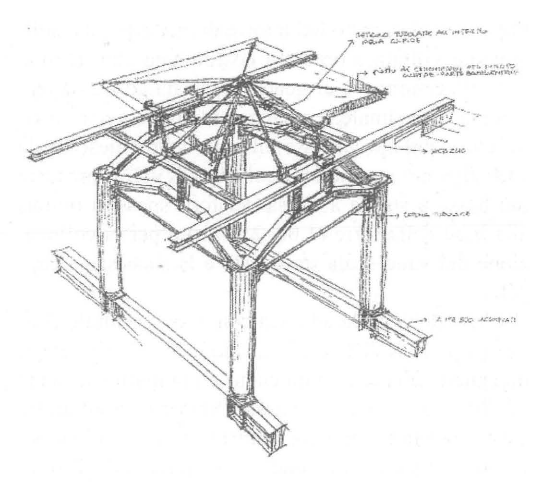


Figura 9
Progetto di consolidamento della cella campanaria della Cattedrale di Alghero in seguito a cedimenti strutturali dovuti al peso della guglia sulla cella campanaria

torri che minacciavano crollo con la sostituzione degli impalcati lignei con solette in c.a. A questo proposito si segnala l'estrema urgenza di una verifica della quantità e stato di conservazione di questi manufatti che, a distanza di cinquant'anni necessitano dei primi interventi di restauro.

La tendenza attuale è invece quella dell'uso di impalcati di acciaio che affiancano le strutture murarie sgravandole dei carichi o in reciproca collaborazione strutturale.

Tra i fenomeni di danno strutturale verificati sia nelle torri con sopralzo che non, il venir meno delle tensioni dei tiranti posizionati già in fase di costruzione alla base delle celle campanarie ha indotto la tendenza alla apertura delle murature di base con conseguente danno alle strutture superiori /cella campanaria e camera dell'orologio, in particolare sul piloni angolari (fig. 10).

La causa concomitante al degrado delle celle campanarie è la sollecitazione dinamica indotta dal movimento delle campane. La difficoltà nella risoluzione del problema ha portato alla sostituzione generalizzata dei sistemi di percussione a dondolamento con il metodo ad elettrobattente. Rimangono comunque le sollecitazioni, seppur di minore entità, dovute alle onde sonore prodotte.

A questa deve sommarsi l'azione dei venti dominati e il degrado dei materiali costitutivi, i cui fenomeni degenerativi sono associati a infiltrazioni umide dalle coperture e dal frequente inserimento nella muratura di elementi in ferro di consolidamento o per l'ancoraggio di elementi lapidei che costituisce è una delle più frequenti cause di degrado. La diffusione dell'arenaria e dei litici tufacei ha causato la diffusione di fenomeni di erosione e polverizzazione di spessori anche consistenti dei paramenti murari inducendo la parziale sostituzione per il ripristino delle sezioni murarie portanti.



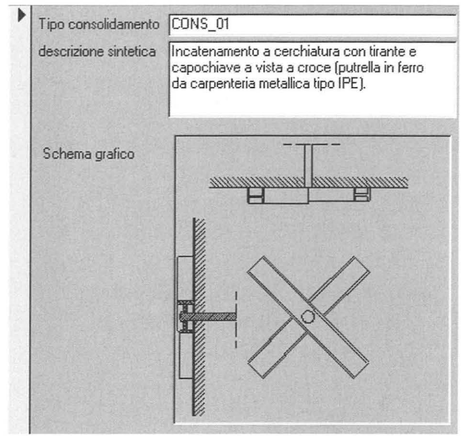


Fig. 10
Samtzai (CA), torre della chiesa di San Giovanni Battista. Particolare della schedatura del capochiave

Note

1. Cfr. Fanti 1962, Caballo 1967, Parmeggiani 1984, Balma 1996.
2. Caballo 1967.
3. Le indagini diagnostiche effettuate dalla dott.ssa Paola Mameli dell'Università di Sassari, esposte nell'intervento di Fiorino, Frulio, Mameli 2003, hanno dimostrato una fattura che giustifica la datazione al XVIII secolo.
4. XXI Comunità Montana Sarrabus Gerrei, Provincia di Cagliari, Ristrutturazione e recupero di un fabbricato del complesso delle ex carceri di Castiadas, 2003, progettista ing. Mauro di Martino, direttore lavori geom. Tullio Piras.
5. Frulio 2001.
6. Non esistendo catalogazioni specifiche per la Sardegna e nell'auspicata ipotesi di giungere a cataloghi delle murature raffrontabili tra regioni diverse, si è assunto a presupposto metodologico il catalogo delle tipologie dei paramenti e delle sezioni murarie redatto dal DIS del Politecnico di Milano in seguito agli studi avviati dopo terremoto dell'Umbria.
7. L'intervento di Giusepe Viana nella fabbrica dell'ex Seminario tridentino, attuale Palazzo dell'Università è documentato presso l'Archivio di Stato di Cagliari, Docc. 19 - 26–04–1777; 20 - 10–06–1777; 21 - 15–06–1777; 22 - 27–08–1777.

Lista di referenze

Balma, M. 1996. *Campanari, campane, campanili di Liguria*. Genova.

Caballo, E. 1967. *I Campanili d'Italia. Cento tavole d'arte di Aldo Raimondi*. Genova.

Fanti, M. 1962. *Campane e campanari bolognesi: nel cinquantesimo di fondazione della Unione campanari bolognesi*. Bologna

Fiorino, D.R.; Frulio, G.; Mameli, P. 2003. *La produzione dei laterizi in Sardegna tra XVII e XIX secolo: le località di fabbrica, la regolamentazione, i prodotti, l'impiego*. Pavia.

Frulio, G. 2001. «L'organizzazione del cantiere e della produzione edilizia ad Alghero nel XVII secolo, in «Archeologia dell'architettura»»», supplemento ad *Archeologia Medievale*, XXVIII, VI.

Parmeggiani, L. 1984. *Campanili, campane e campanari del Modenese*. Modena.

De las calzadas a los firmes del XIX

J. M. Fonseca García
J. Alonso Trigueros

Cuando analizamos restos de caminos antiguos, la primera cuestión que nos planteamos es el origen del camino tanto desde el punto de vista de su carácter histórico cuanto de su definición estructural. Y en este sentido clasificamos los restos de forma dual, es decir si el camino representa un resto relicto abandonado o si ha mantenido su funcionalidad a lo largo de varias centurias. El porqué de esta clasificación resulta claro: un camino antiguo es un camino que tras sucesivas adaptaciones a lo largo del tiempo, ha seguido en su trazado manteniendo la geometría del mismo, mientras que un camino viejo suscita el pensamiento de un camino que en cierto momento histórico ha dejado de existir como tal y lo reconocemos como un resto histórico (fig. 1). Así, los caminos abandonados pierden su carácter dinámico y quedan como restos para la historia del camino. No es extraño que en muchas ciudades y pueblos aparezca la denominación de «camino viejo de» como por ejemplo en Valladolid «camino viejo de Simancas», que sería la trascripción latina de «camino hacia» con el acusativo de los ramales de las tradicionales vías antiguas que, por otra parte se denominan con términos que hacen referencia al carácter superficial del firme, como por ejemplo camino de piedra o camino antiguo y hasta «antigua carretera a» castellanizando el sentido de itinerario propio de las redes de transporte y cuyo paradigma serían los caminos de postas, antecesores directos de las modernas carreteras del siglo XX.

Todo cuanto antecede nos lleva a poder estudiar el carácter constructivo de los viejos caminos o de los caminos antiguos, en su caso. Obsérvese que mientras que los caminos antiguos que han mantenido su carácter de tal nos va a permitir extractar métodos y procedimientos constructivos más recientes, los viejos caminos nos dan una idea clara de la situación constructiva en el momento que son abandonados para el uso propio del camino como tal. Recordemos la indumentaria de las esculturas de nuestra rica imaginería española que refleja los modos y vestimenta del siglo XVI cuando la representación es la de los primeros años de la era cristiana. Ello quiere decir que la representación iconográfica de las esculturas religiosas, nos aporta una descripción de las costumbres de la época en la que se realizan, mientras que si hiciéramos lo mismo en la época actual perderíamos la riqueza artística y referencial del siglo que las vio nacer. La sección transversal del camino presenta un diseño que la práctica constructiva, en aras a una mejor conservación de la vía, parece que no ha variado mucho hasta bien entrado el siglo XIX.

Todos apreciamos el bombeo de los caminos para una rápida evacuación del agua, enemigo número uno de la vida del firme y esto es un aserto que parece haber tenido en cuenta los constructores de caminos desde hace mucho tiempo. Aun cuando esto era reconocido como condición sine qua non para prolongar la vida del firme, no fue hasta finales del siglo XX cuando se lleva una práctica generalizada y sistematizada de construcción de cunetas revestidas y de una partida presupuestaria importante para la conservación de la inversión en carreteras.

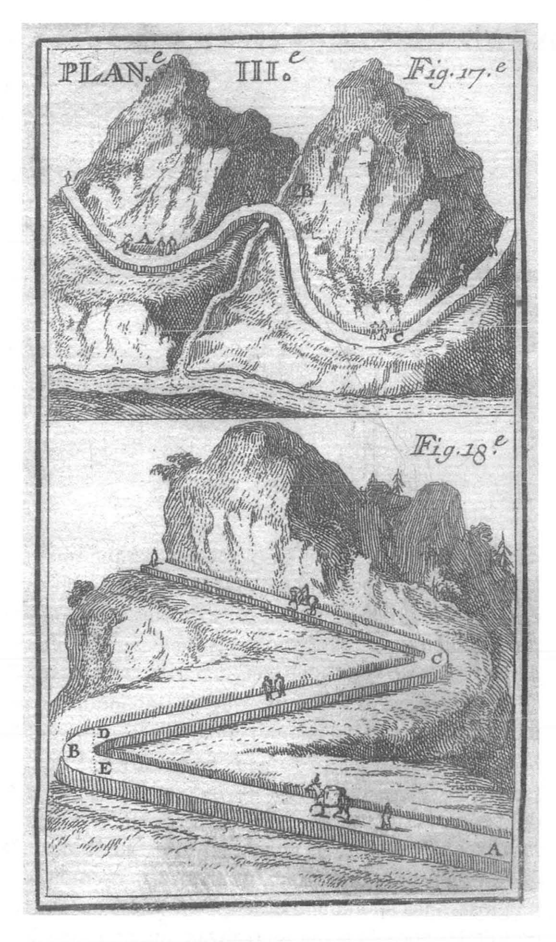


Figura 1
Trazado de un viejo camino en terreno montañoso. Fuente: T. Gautier, Construcción de caminos, 1750

Ya en la época romana recogemos documentos que indican que Augusto obligó a una parte de sus tropas a hacer zanjas en los caminos (solci) y a conservarlas, indicando que los primeros soldados trabajaban en la construcción de los caminos. La cita es de Gautier. Asimismo, Séneca nos dice que a la ciudad de Roma concurrían varios caminos que alcanzaban los límites del mundo conocido «considerate hanc civitatem in qua turba per altísima itinera». Nicolás Bergier analiza las secciones estructurales del camino de Reims indicando que están formadas por:

1. Una capa de una pulgada de espesor de mortero o de cemento de arena y cal.
2. Una capa de 10 pulgadas de espesor de grandes piedras aplanadas al modo de la mampostería en la construcción vertical
3. Capa de 8 pulgadas de espesor con piedras más o menos redondeadas mezcladas con trozos de ladrillo. Este un detalle que caracteriza casi con exactitud el carácter romano del camino. Recordemos que éste es un caso típico de aprovechamiento de materiales residuales, ánforas o ladrillos que machacados constituyen la base del firme.
4. Capa de guijarros de 6 pulgadas de espesor. Es decir, un tratamiento superficial de recargo de gravillas que será el procedimiento que va a permanecer en los períodos de conservación de la red.

Recordemos el permanente bacheo de las carreteras con grava o con aglomerados en frío y que ha mantenido y mantiene aún su vigencia en las carreteras de tercer orden (caminos vecinales)

La descripción que hace Bergier de las vías de Langres, patria chica de Diderot, encuentra algunas diferencias achacables más a la variabilidad cronológica de la red que a una diferente tipología del firme. Es decir, parece que los procedimientos constructivos ligados a la compactación de las capas terrenas o a la trituración de la piedra para extenderla como capa granular, constituyen unas formas de hacer que se han mantenido durante muchos siglos.

Tito Livio asigna una capa superficial de «guijarros» en las calles de Roma mientras que indica que los caminos interurbanos se encuentran recubiertos de «gravas».

Los romanos realizaban muros de contención en carreteras de montaña así como pilotajes con tablestacas en terrenos «fangosos» (fig. 2).

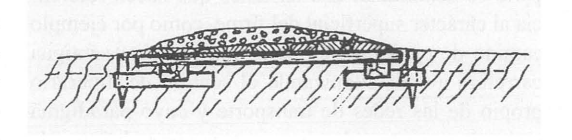


Figura 2
Sección transversal en terreno pantanoso. Fuente: R. Chevallier, Les voies romaines, 1972

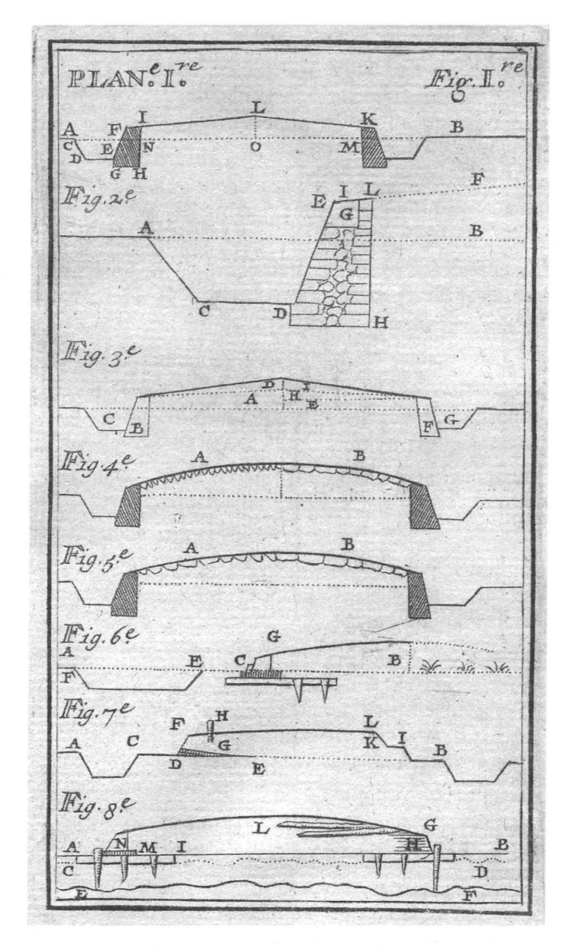


Figura 3
Diferentes secciones estructurales del camino. Fuente: T. Gautier, Construcción de caminos, 1750

Por lo tanto, el análisis de las redes camineras de viejos caminos aportan datos históricos que nos permite llegar a definir determinados procedimientos constructivos según la época en la que tales caminos fueron abandonados (fig. 3).

Las características del diseño de los firmes a lo largo del tiempo como acabamos de indicar presentan una curiosa uniformidad de criterios de lo que en lenguaje moderno denominamos proyectos de los firmes de carreteras y que es en realidad un diseño geométrico de la sección estructural del firme, así como una caracterización de los materiales constituyentes del mismo y la definición geométrica del espesor de las distintas capas.

Nosotros hemos llevado a cabo una investigación tanto de los itinerarios como de la clasificación de los diferentes tramos de caminos investigados. Para llevar a cabo esta investigación hemos seleccionado una serie de tramos a lo largo y a lo ancho de la Hispania romana. Restos de caminos en España hay una profusión tal que cuando nos adentramos en la selección y clasificación de los tramos nos sorprende no sólo el número de los mismos sino una definición aparentemente homogénea, como ya hemos indicado, que trasciende la época de su posible construcción o rehabilitación. Tenemos aquí que hacer un paréntesis de nuestro discurso para indicar el alcance de los conceptos que tratamos. En primer lugar tenemos que decir que la construcción de un camino se corresponde con la definición del trazado. Normalmente los itineri se corresponden con antiguas sendas o trayectorias que siguen los lugareños. Algunas de ellas por su característica estructurante del territorio o por su abundancia en cuanto a tránsito de personas o de carros, fueron redefinidas a partir de la conquista romana mediante una red de caminos principales con origen funcional militar y que luego constituyeron la red carretera terrestre donde se apoyó el desarrollo de las poblaciones romanas, en principio asentamientos militares, cabezas de puente de la conquista y red conectora de las ciudades romanas en España: Clunia, Carranque, Almenara, Ercávica, Segóbriga, Tiermes, Segontia, Itálica, etc. Caracterizamos a estos tramos como vías romanas por cuanto apoyándose en viejos trazados, se les dio un carácter permanente mediante la realización de caminos que algunos han caracterizado de facto como vías romanas. Tales vías permanecerían tras la caída del imperio y serían reconstruidas en la edad media sobre todo con los itinerarios de las vías trashumantes reconocidos en los viejos trazados por su acceso a puentes medievales que se conocen como «el puente de las ovejas» en numerosos lugares de la península.

Cuando se produce una simple regeneración superficial unida a veces con singulares reconstrucciones en los tramos más deteriorados, denominamos tal acción como rehabilitación superficial o estructural dependiendo de la importancia de los trabajos (fig. 4).

Así, a lo largo de los siglos se van produciendo reconstrucciones o rehabilitaciones hasta bien entrado el siglo XX. Paradigma de los acondicionamientos

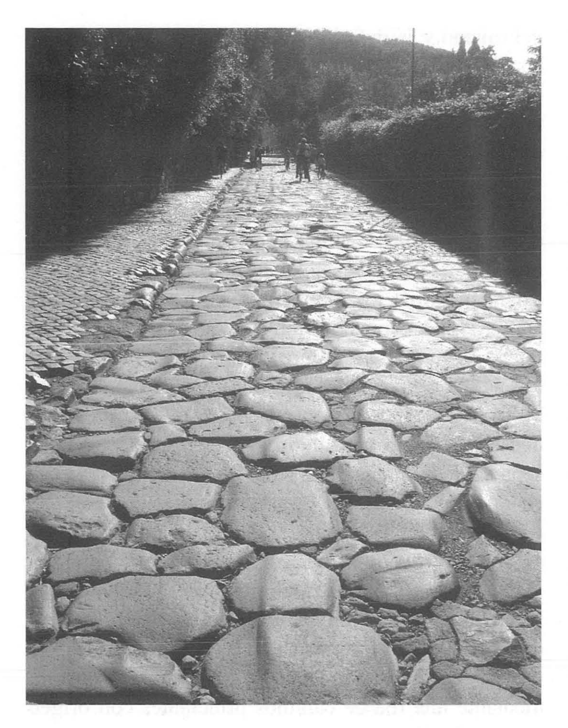


Figura 4
Via Appia. Fuente: Elaboración propia

viarios en su más amplio concepto, llegaría en cuanto a la recuperación de restos históricos, a definir métodos de conservación y mantenimiento y excluir tanto las reconstrucciones como determinadas rehabilitaciones que olvidando el carácter permanente histórico de los tramos, haría que se perdiese *in eternum* una fotografía del estado de los restos que deben ser siempre preservados y conservados en su más puro y genuino estado.

De lo que antecede podemos indicar que las secciones de los firmes presentan una clara referencia a reconstrucciones o rehabilitaciones y, como decía Bergier aparecen sistemas multicapas producto de recargos y nuevas capas regeneradoras de la funcionalidad del firme pero que alejan al investigador de la consideración de secciones estructurales normalizadas que pudieran ser objeto de una datación de la vía más exacta.

Un aspecto muy importante en relación a la investigación constructiva del camino es la detección de roderas y rodadas en los caminos antiguos. Se sabe que en época romana en algunos lugares especialmente en las cercanías de las ciudades y en la propia ciudad, se encontraban roderas predeterminadas que conocemos como «orbitae» que eran carriles por los que se encajaban las ruedas de los vehículos que transitaban por el camino. Tales huellas se realizaban en los caminos enlosados y constituían lo que modernamente denominamos como caminos guiados y que sería el precedente de las vías férreas tras la llegada del ferrocarril

La medición del empate de las huellas que aparecen en el camino nos permite suponer la existencia de carruajes y carros con diferente diseño y por lo tanto de forma indirecta determinar la época mínima de asignación del viejo trazado.

Cómo se realizaban las «orbitae» y haciendo la salvedad de que la investigación nos aporte documentos ad hoc, la existencia de métodos muy rudimentarios nos hace suponer una construcción de la vía con un uso intensivo de mano de obra y unos condicionantes técnicos y de instrumentos utilizados, ciertamente sencillos. Así, se utilizaba los mallei o martillos con extremo plano o de dientes, vacenae o picos, scalpi o cinceles y punzones, así como todo el material utilizado para la extracción y sección de las piedras.

Aunque la imaginación es muy rica en realizar grabados que circulan en documentos de alcance popular sobre cómo era la construcción de una calzada romana, nosotros creemos que los procedimientos constructivos eran muy simples (fig. 5) y sólo queremos reconocer en los ignotos conocimientos de la época que nos ocupa, la existencia tanto de maquinaria de transporte de piedras como de compactación de las capas terrenas o granulares ya que la investigación in situ nos aporta datos que nos hace poder decir que las capas de los firmes de los caminos antiguos eran sometidas durante la construcción a un proceso de compactación con rodillos o pisones, lo que ahora incluyendo la eficacia de la vibración denominamos en el argot de obra como «ranas» ya utilizadas en la compactación de zanjas.

Relacionando trazado de la vía, elementos auxiliares del camino y número y caracterización de las capas constituyentes del firme, podemos adelantar una serie de épocas en las que encuadrar desarrollos constructivos semejantes. Así, definimos calzada prerromana o ibérica (Ayora), calzada romana (vía de la plata), camino medieval (Los Ibores, Bárcena

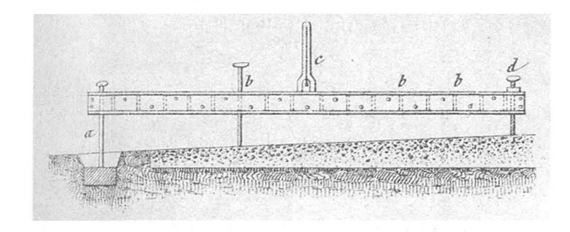


Figura 5
Utilización de la Regla de Mary para el replanteo transversal. Atlas de carreteras, 1834

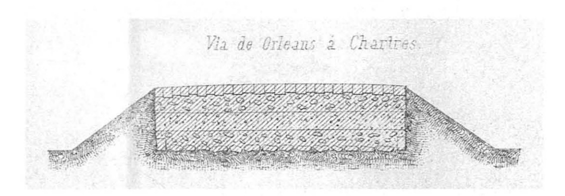


Figura 6
Sección estructural de vía medieval. Fuente: Atlas de carreteras, 1834

de Pie de Concha), camino real (Bárcena de Pie de Concha en la margen derecha del Besaya), carretera del XIX (antiguas carreras de postas) y carreteras rectificadas de finales del XX. Esta clasificación que bien podíamos suponer sin solución de continuidad nos permite determinar los puntos medios cronológicos de una distribución gaussiana a la hora de asignar épocas a tramos investigados. Qué duda cabe que la cola de la distribución se corresponde con caminos de difícil asignación a períodos históricos determinados, es decir, el conjunto de caminos ibéricos llegaría hasta el siglo II a.C. mientras que los romanos se centrarían en el siglo II a.D., fundamentalmente en la época de Trajano en donde hay documentado el mayor número de vías construidas y rehabilitadas (fig. 6). Las medievales se centrarían en el siglo VI y continuaría durante la dominación árabe en donde las referencias camineras son escasas para concluir en los siglos XIV, XV y XVI con lo que sería el paradigma de datación de lo que denominamos caminos medievales o caminos reales. El siglo XIX presenta un punto destacado del inicio de los modernos métodos constructivos de carreteras enlazando con el despegue de las obras públicas tras la Ilustración. Será el siglo XX el que determine la rehabilitación de tramos con los planes de carreteras que van desde los circuitos de firmes especiales y el siguiente del plan REDIA hasta los grandes ejes itinerarios propios de las modernas carreteras. Aquí hay que reconocer el refuerzo de firmes mediante la extensión de mezclas bituminosas en caliente que constituye un proceso ex novo de construcción de carreteras y que se realiza sobre firmes flexibles existentes y de largo predicamento así como sobre carreteras de adoquines (firmes semirrígidos) también realizados en las calles urbanas adoquinadas de principios del siglo XX.

¿Qué extraer de cuanto antecede? La datación de las vías constituye uno de los objetivos prioritarios que no sólo informa sobre la tipología de los firmes, sino que son una referencia para el desarrollo económico, de tal manera que es a partir del siglo XVIII cuando aparecen referencias textuales, en algún caso documentadas con planos, que son un prodigio de detalle y que constituyen unos preciados documentos no sólo de la investigación caminera sino también del estudio socio-económico y cultural de la ingeniería de los caminos. Como consecuencia de tales estudios podemos concluir lo siguiente:

1. Desde antiguo, los caminos no se han limitado a lo que denominamos una explanación del terreno, si bien en casos especiales se constituyen como caminos monocapa cuando el terreno de asiento lo permite constituyendo los caminos terrenos o vías terrenas, también de asignación o paternidad romana, con una simple compactación de la capa superficial, en ocasiones, terreno natural y en algunos casos terreno de aportación de materiales locales muy cercanos a la traza del camino. Hay grabados antiguos que nos representan una maquinaria muy rudimentaria de compactación de tierras, así como de recargos de grava (fig. 7) o firmes de piedra partida (fig. 8).

2. Cuando tratamos de caminos pedregosos un vertido de piedra más o menos menuda constituye sin más el soporte de la vía, sin compactación alguna. Estos caminos pedregosos presentan datación muy antigua y constituyen una primera referencia del carácter más elaborado de las vías romanas, las calzadas medievales y los primeros firmes que denominamos de piedra partida y que fueron norma en las primeras décadas del siglo XVII. Hemos podido observar el recargo de piedra menuda en las roderas de

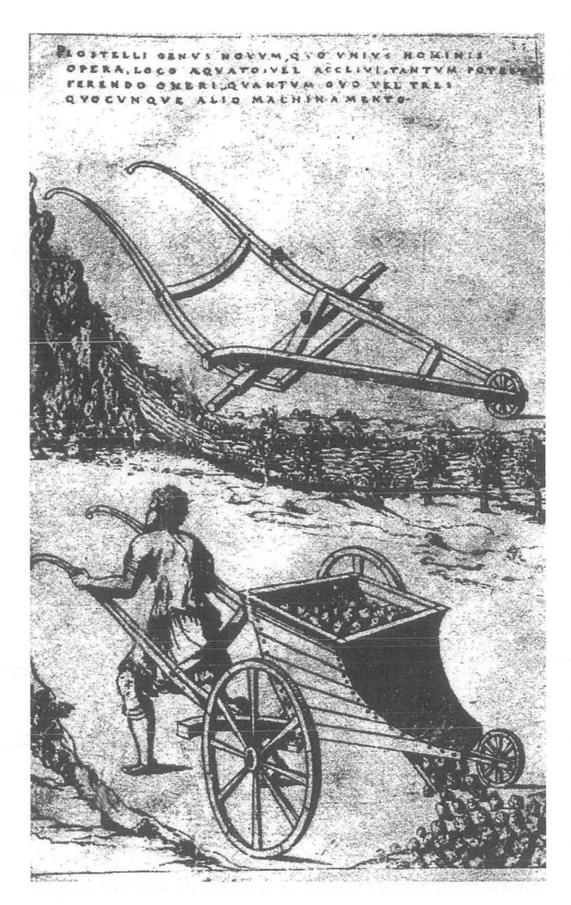


Figura 7
Cajón repartidor de grava. Fuente: Grabado del s. XVI

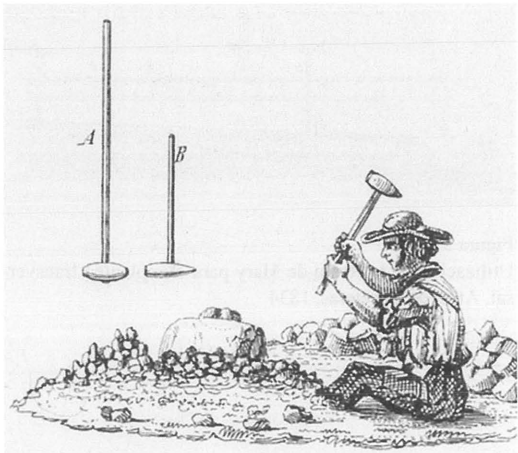


Figura 8
Picapedrero. Fuente: R. del Pino, Conservación de carreteras, 1841

viejos caminos rurales y que las referencias documentales e históricas nos retrotraen a épocas muy antiguas.

3. Creemos que las calzadas romanas, si bien no se pueden normalizar de forma clara como sistemas multicapa, sí se vislumbra un conocimiento práctico de la disposición tricapa que las sucesivas rehabilitaciones o recargos convierten en firmes multicapas que hemos podido apreciar en numerosas ocasiones. Y es aquí cuando aparecen los primeros indicios claros de la definición de capa portante, capa drenante y capa superficial del firme.

4. En cuanto a las calzadas romanas que tantas veces se presentan como la cumbre de la ingeniería carretera, resulta claro el salto técnico que la civilización romana aportó. Sin embargo en relación al método constructivo no podemos menos de considerar que la existencia de pisones así como la compactación de las capas terrenas o granulares fueron norma para el ingeniero romano y en este sentido parece que hubiera podido existir un reglamento constructivo dada la homogeneidad de tratamiento de las vías a lo largo y ancho del imperio. Desgraciadamente tal reglamento legal está por descubrir.

5. Hay que esperar al siglo XIX para encontrarse con el cambio de las vías enlosadas y empedradas de la edad media y albores de la moderna para definir los firmes de Mac-Adam cuyo encaje de las piedras así como del recebo de la superficie nos sugiere la existencia de maquinaria específica que el siglo pasado llegó a desarrollar al máximo.

6. El siglo XX con el descubrimiento de la aplicación del betún residual de la destilación del petróleo en las carreteras vería con asombro la utilización del alquitrán, la brea y los riegos de imprimación y sellado, éstos ya con el betún como constituyente primordial, que acabaría desarrollando la técnica del frío con las emulsiones y los primeros aglomerados, que mejoraron grandemente la capacidad superficial del firme con el desarrollo del automóvil y de los vehículos de transporte pesado por carretera.

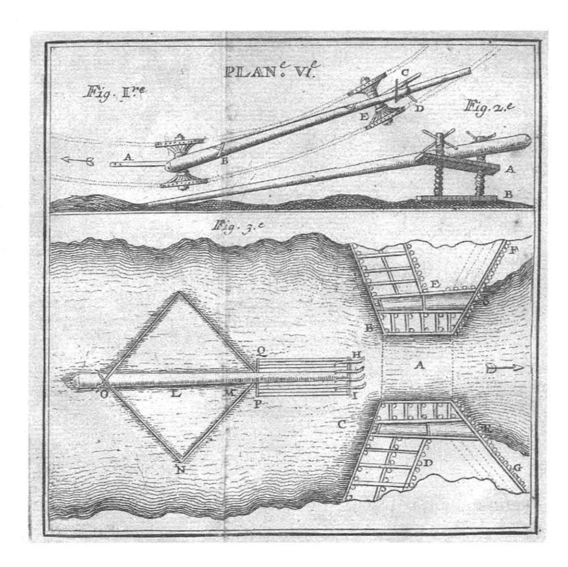


Figura 9
Transporte de elementos constructivos. Fuente: T. Gautier, Construcción de caminos, 1750

7. Los procedimientos constructivos del mundo romano como iniciadores del desarrollo del transporte terrestre y el fundamento técnico de los siglos que siguieron a la civilización romana creemos, como conclusión importante, que han seguido un progresivo aunque lento desarrollo de la técnica constructiva del camino que nos hace ver en la contemplación de restos antiguos, que el camino gozó a lo largo de muchas centurias, de un concepto de diseño y construcción que tenía los mismos fundamentos de la actual técnica de carreteras si bien con procedimientos de muy bajo rendimiento y consecuentemente con unas condiciones de permanencia de la funcionalidad del firme mucho menores de lo que la técnica modera llegaría a aportar, lo que denominamos como prestaciones, como traducción del término sajón «performance».

8. Como ocurre hoy en día con los transportes especiales, también se observa en los itinerarios a través de la historia, la existencia de «rectificaciones del trazado en planta» para permitir el transporte de grandes troncos que se utilizaban para la construcción de obras de paso de los caminos y en las obras auxiliares, en particular muros de sostenimiento (figs. 9 y 10).

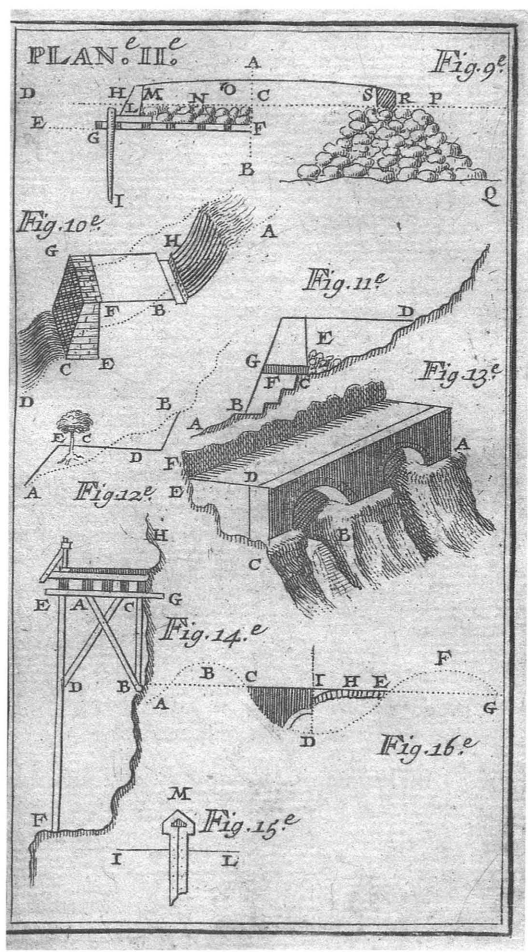


Figura 10
Obras auxiliares del camino. Fuente: T. Gautier, Construcción de caminos, 1750

9. Se puede apreciar in situ las diferentes tipologías del firme que se reconocen en las secciones en donde puede verse, como característica general, la existencia de cunetas, muros de contención y un detalle del tratamiento de la explanada como apoyo o cimentación de todo el sistema multicapa del firme.

10. El diferente aparejo de las losas (enlosado), de las piedras (empedrado) o simplemente atendiendo al tamaño y homogeneidad o heterogeneidad de los «áridos» (gravas, gravillas o arenas) se encuentran diferentes tipos según la edad del firme. Así,

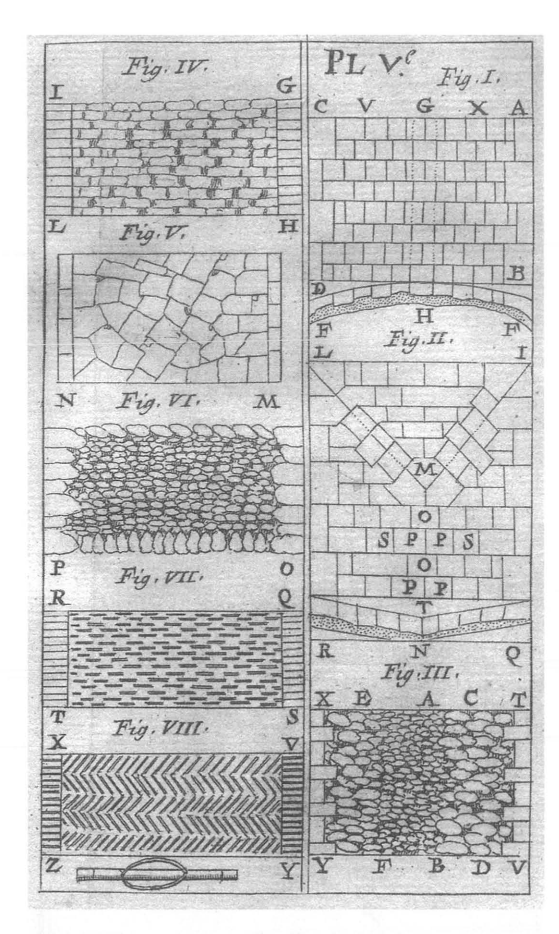


Figura 11
Tipologías de la capa superficial del camino. Fuente: T. Gautier, Construcción de caminos, 1750

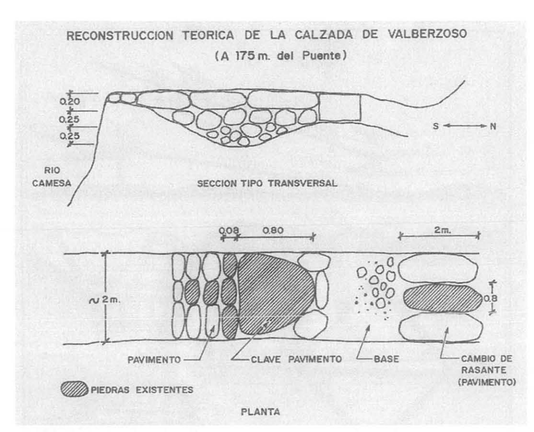


Figura 12
Interpretación constructiva de un camino. Fuente: Elaboración propia

aparejos sencillos se corresponden con períodos más antiguos: se asemeja a sillerías o mampostería de la construcción vertical, trasladando su concepción a la construcción horizontal del firme. Aparejos en forma de espina de pez, en los empedrados o con cuneta longitudinal central corresponde a firmes medievales (fig. 11).

11. Una última conclusión corroborada en el pormenorizado análisis de los restos de caminos antiguos es aquélla que nos aporta la importancia del estudio arqueológico del firme, es decir, la limpieza de los restos, la clasificación de las piedras sueltas, la propia disposición de las mismas, la posible trayectoria, producto de arrollamientos o deslizamientos de pequeños o grandes paños de calzada, e incluso la detección de restos en los bordes del camino. Con todo ello puede llegar el investigador a completar el rompecabezas de los restos y definiendo los elementos existentes a sección plena, extrapolarlo para llegar a entender la correcta funcionalidad del firme en su conjunto así como de sus elementos constituyentes, léase, piedras clave, ajustes, cuñas, encaje de piedras o gravas más pequeñas, material menudo, relleno de huecos, incluso viejos vestigios de tratamientos de conservación, regeneración o mantenimiento de la vía (fig. 12).

Lista de referencias

José María Fonseca y Jesús Alonso. 2006. «Plaustra, tabulae y calzadas». En *Symposium de Ingeniería Civil romana*. Tarragona.

R. del Pino. 1841. *Conservación de carreteras.*

T. Gautier. 1750. *Construcción de caminos.*

Atlas de carreteras, 1834.

Abásolo, J. A. 1994. «El estudio de las vías romanas en Hispania». En *XIV Congreso Internacional de Arqueología Clásica.*

Silléres, P. 1990. «La búsqueda de las calzadas romanas: desde la fotointerpretación hasta el sondeo». En *Simposio sobre la red viaria en la Hispania romana.* Zaragoza.

Cuntz. 1929. *Itineraria romana.* Berlín.

R. Chevallier. 1972. *Les voies romaines*. París.

José María Fonseca. 1990. «El drenaje en las calzadas romanas». En *Seminario de la Ingeniería, el agua y el terreno*. Málaga: Sociedad Española de Mecánica del Suelo.

Arias Bonet, G. 1993. «Una visión global de la red viaria de la Hispania romana». *Revista OP*. Caminos I.

Adam, Jean-Pierre. 1984. *La construction romaine*. París.

Bergier, V. *Histoire des grands chemins de l'empire romain* T.1, lib. II.

Marco Lucio Vitrubio Polion. *De Architectura.*

Siculo Flacco. *De condicionibus Agrorum*. Edición de R. Lachmann.

Bóvedas tabicadas: Mitos

Manuel Fortea Luna
Vicente López Bernal

La literatura sobre bóvedas tabicadas no es muy extensa, y la existente es poco explícita. Los clásicos la han soslayado en sus tratados, bien por no ser piezas de categoría suficiente en el elenco de la nómina arquitectónica, o bien por simple desconocimiento. Es cierto que no es un elemento distintivo, que se pueda identificar, porque habitualmente han estado revestidas, y consecuentemente invisible. También es cierto que los historiadores de la arquitectura se han centrado en lo superficial, en lo que se ve, en la última capa del último material, nunca les ha interesado lo que no se ve, como los cimientos o las tripas de un edificio. Los libros de arquitectura, cuando hablan de bóvedas y sobre todo si están revestidas, no se detienen a describir su composición interior, es mas no les importa de que estén hechas, siendo para ellos una cuestión menor.

Vitruvio, el primer tratadista arquitectónico, cuyos textos han llegado hasta nosotros, se detuvo poco en las bóvedas, y por supuesto nada dijo sobre las bóvedas tabicadas. En el capítulo tercero del libro séptimo se dedica a describir la bóveda encamonada, pero no es una bóveda de ladrillo, es una falsa bóveda, el resultado de colocar unos camones de madera separados dos pies unidos entre sí por «un tejido de cañas griegas quebrantadas y aplastadas, atadas con tomiza de esparto de España»[1] que posteriormente se repella y revoca por el interior. Por la misma senda anduvieron todos los que le siguieron en el Renacimiento.

Fray Lorenzo 1634

Fray Lorenzo de San Nicolas es el primero que nombra en sus escritos la bóveda tabicada. Comienza a tratar las bóvedas en general en el capítulo 51, Clasificándolas por dos conceptos, su geometría y sus materiales. Por su forma las divide en las siguientes clases: La primera un cañón de bóveda, la segunda de media naranja, la tercera de capilla bayda, la cuarta de capilla esquilfada, y la quinta de capilla por arista. Respecto al material de que están hechas dice «De tres materias se hacen bóvedas, que es de yeso tabicado, y de rosca de ladrillo. De estas dos no haremos demostración, y de la tercera sí que es de cantería».[2]

Cuando describe la bóveda tabicada de cañón derecho, según él la más fácil de todas, precisa que se harán cerchas de tablas,» por lo menos dos de ellas, para que a trechos la vayas tabicando, y un trecho cerrado, empezarás otro, llevando trabadas las hiladas como si fuera sillería».[3] La única distinción que hace Fray Lorenzo entre las tabicadas y las de rosca es que para estas últimas se requiere cimbras mas fuertes.

Por las descripciones que ofrece Fray Lorenzo, no conoce la ejecución de bóvedas de cañón sin cimbra, ni siquiera las tabicadas, y mucho menos las de rosca de ladrillo (fig. 1). En Extremadura todavía se utiliza el término «de rosca» para referirse a una bóveda de ladrillo que no es tabicada, esto es de ladrillo macizo colocado en posición mas o menos vertical y tomada

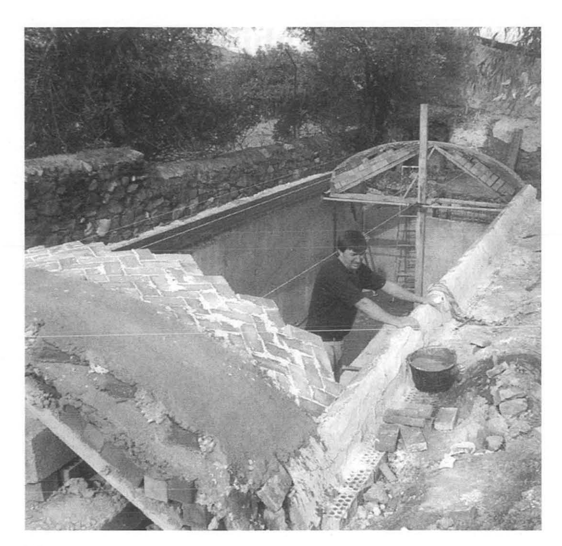


Figura 1
Bóveda de cañón sin cimbra construida según diseño del autor

con mortero de cal, asimilable a bóvedas construidas sin cimbras con aparejo a la bizantina (fig. 2). Y evidentemente se utiliza el término de «tabicada» para referirse a bóvedas de ladrillo (hueco o macizo), colocados en posición más o menos horizontal, y tomados con mortero de yeso.

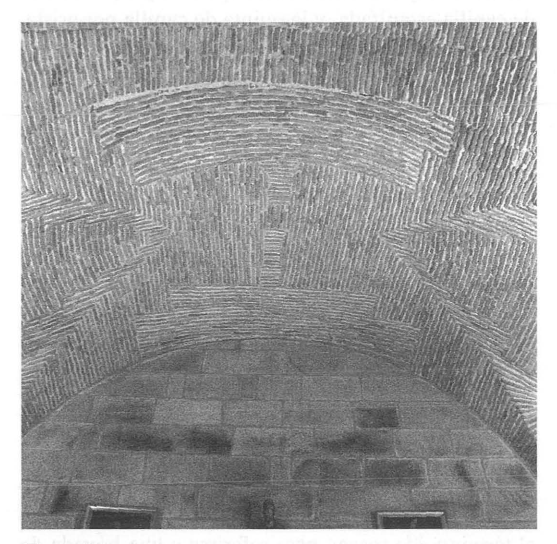


Figura 2
Bóveda de rosca en la Sacristia de la Iglesia de la Anunciación en Brozas

Fray Lorenzo da otras recomendaciones sobre la bóveda de cañón tabicada: «procurarás que todas tres bóvedas lleven la vuelta de medio punto, porque es la mas firme, y vistosa vuelta, y de menos peso». Aconseja la sección semicircular, y se sobreentiende que la bóveda está compuesta por tres hojas. Y continua diciendo que «así como vayas tabicando, la iras doblando, y macizando las embecaduras hasta el primer tercio, y esto ha de ser en todas las bóvedas, echando sus lengüetas atrechos, que levanten el otro tercio, para que así reciban todo el empuje o peso de la bóveda».[4]

Uno de los mitos que circulan en este micromundo es que Fary Lorenzo fue el primer responsable de asignarle a las bóvedas tabicadas la originalidad de no generar empujes. Extremo absolutamente falso. En ningún momento dice que la bóveda tabicada no ejerza empujes, más al contrario entiende que el peso y el empuje son inseparables y ha de tratarse en todas las bóvedas de igual manera independientemente del material con que estén ejecutadas.

Explica Fray Lorenzo la bóveda tabicada encamonada, (que no es la bóveda encamonada de Vitruvio, pero es igualmente un elemento decorativo), sin ninguna función estructural, como los falsos techos actuales. Incluso se jacta de haber realizado una de «40 pies de largo, 18 de ancho, y 3 pies de vuelta».[5] No deja de ser curioso que dé tantos detalles de una ejecución propia de este tipo de bóvedas y no de ninguno sobre otros tipos que hubiere ejecutado. Es posible que de los que no da información no le parezca de suficiente interés, o bien que esta de 40 pies de larga le parezca tan singular que merezca su mención.

Sobre la disposición y orden de hacer la bóveda de media naranja, dice que «siendo tabicada no necesita de cimbra ninguna, y así en el centro del anillo, a nivel del asiento de la media naranja, fija un renglón con un muelle que ande alrededor, y el renglón así fijo ha de servir de punto, o cintrel para labrar la media naranja, teniendo al fin de punto una empalma del grueso del ladrillo para que en ella misma descanse cada ladrillo asentado, en el interin que otros asientan, y haciendo así en todas las hiladas, acabaras la media naranja con toda perfección».[6] Para el caso de cúpulas de media naranja prolongada, propone la ejecución con dos centros, lo que daría una sec-

ción ovoidal y nunca elíptica, para este caso propone cuatro centros, manifestando que este género de bóvedas se va introduciendo en España, como es el caso de la Encarnación de Alcalá de Henares.

La bóveda de Capilla bayda es realmente una semiesfera cortada por cuatro planos verticales, por lo que la ejecución es muy similar a la de media naranja, no obstante Fray Lorenzo aconseja que aún pudiéndose tabicar sin cimbra «mas por mejor tengo, que asientes cuatro cerchones en diagonal, dando la vuelta de medio punto por el mismo diagonal, para que así obres con mas seguridad»,[7] evidenciando una vez mas su desconfianza (o desconocimiento) en trabajar sin cimbras.

La construcción de la bóveda de arista es igualmente mediante cimbras por las diagonales, «sentadas las cimbras y monteadas las formas, se va tabicando de la forma a la cimbra, sirviendo ella de que la esquina de la bóveda vaya cargando encima, y sustentándola hasta que las unas con las otras se vienen a juntar y cerrar, y estando así quedan seguras (fig. 3). No necesita esta bóveda de lenguetas o estribos, por causa que tienen los empujes contra sus mismas diagonales mas necesita macizar las embocaduras hasta el primer tercio, y estando así queda segura».[8] Esta descripción evidencia el conocimiento preciso de su ejecución y experiencia contrastada. El mismo reconoce que de este tipo las tiene hechas por sus propias manos.

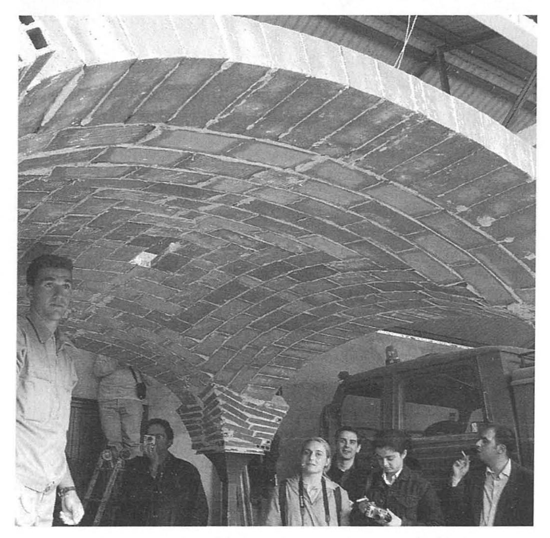


Figura 3
Bóveda de tabicada de aristas realizada sin cimbras como práctica

JOAQUIN DE SOTOMAYOR 1776

Don Joaquin de Sotomayor, Cisneros y Sarmiento, Señor de Allones, escribió en 1776 un libro titulado «Modo de hacer incombustibles los edificios, sin aumentar el costo de su construcción», que según su autor es un extracto del que escribió en francés el Conde de Espìau. No era arquitecto ni actor directo en el proceso constructivo en ninguno estamento, pero si comienza la introducción con una declaración especial «La inclinación a la buena Arquitectura es casi tan antigua en Mi, como el uso de la razón»,y continua diciendo que nunca vio «levantar edificio de alguna consideración, que no visitase y examinase con frecuencia y con curiosidad estudiosa; haciendo observaciones y proponiendo las dudas, que se me ofrecian, a aquellos Profesores, a cuyo cargo estaban dichas Fábricas».[9] Sotomayor es un espectador curioso, ajeno a la producción arquitectónica, pero de una osadía tal que se atreve a tratar en dicha publicación un tema tan peliagudo como la construcción de bóvedas, del que dice que «se han introducido tantos, y tan considerables abusos, que no sé cómo pudieron incurrir tan generalmente en ellos unos Profesores de la magnitud de los que han florecido en los tres últimos siglos». Que un aficionado ponga en cuestión el conocimiento de arquitectónico de las tres centurias anteriores nos hace ponernos en guardia y escuchar con estoicismo sus palabras. Sus teorías son tan excéntricas como que a los edificios góticos como la catedral de León «en realidad deben llamarse Moriscos o Árabes no menos por la época de su construcción, que por el sistema de su Fábrica».[10]

Sotomayor o Espie, definen la boveda tabicada como «la bóveda llana que se hacen rebajadas y que en la mayor parte de su extensión se colocan los ladrillos de plano…, siendo su estructura la misma que los tabiques de ladrillo»,[11] siendo «los materiales precisos para hacer estas Bóvedas el ladrillo y el yeso.(Pero al segundo se podrá sustituir la cal, y con gran ventaja, así por ser mas general su abundancia que la del yeso, y menor por consiguiente su precio, como porque aumentará la solidez de la Obra)».[12] Esta definición encierra una gran contradicción al considerar que el uso del yeso y el de la cal pueden

ser alternativos. Debo decir que no he visto nunca una bóveda tabicada tomada toda ella con mortero de cal, al menos la primera hoja siempre es de yeso. El paréntesis es una aportación exclusiva de Sotomayor, de acuerdo con la declaración efectuada en la introducción. Podemos por tanto atribuir la definición a Espie y la contradicción del uso de la cal a Sotomayor. Según Espie el perfil apropiado es el elíptico, pudiéndose reducir «su altura hasta un octavo de su diámetro»,[13] debido a su poco peso y a que «Adquieren toda su solidez, y consistencia en un corto número de minutos, no necesita mas cimbra que las precisas para dirigir al Artífice en la formación de su concavidad».[14] En el punto 19 Espie habla del relleno de los senos, las lengüetas o estribos y del refuerzo de los cuatro ángulos de la bóveda, siendo Sotomayor el que introduce, en este mismo punto y entre corchetes (lo que no levanta ninguna duda de su autoría), la cuestión de la expansividad del yeso. Personalmente no he visto nunca levantarse una bóveda por la expansión del yeso, sí las he visto levantarse (mas de una vez) por imprudencias de los operarios, las mas de las veces por subirse en ellas sin completar mínimamente el relleno de los senos. Espie da cuenta de una obra, La del convento de los padres Observante de Perpiñan, según él «fabricada habrá tres o cuatro siglos por los Españoles, cuando eran dueños del Rosellon».[15] En el punto 43 Sotomayor, que no Espie, expone el nefasto símil de la tapadera: «figurese una bóveda de hierro, bronce, u otro cualquier metal vaciada, y hecha de una pieza, como una campana, y digan los profesores mas preocupados si semejante bóveda tendría empuje alguno».[16] Puestos a figurar, figúrense una bóveda tabicada, y como si fuera una campana intentáramos levantar tirando exclusivamente de la clave, y digan los más preocupados que pensarían sobre los empujes si dicha bóveda se rompiera y solo consiguiéramos levantar un par de ladrillos.

Espie, aún siendo defensor de la ligereza de las bóvedas tabicadas, está próximo a la línea argumental de Fray Lorenzo, la idea clásica de que los empujes son proporcional al peso de la bóveda. Es Joaquin de Sotomayor el que introduce dos mitos sobre las bóvedas tabicadas, dos mitos nuevos, dos mitos falsos: El primero es la ausencia de empujes, el segundo las supuestas consecuencias nefastas de la expansividad del yeso (fig. 4). Ya se ha apuntado anteriormente que Sotomayor no es un experto, sino más bien un intruso. Nadie mejor que un buen arquitecto contemporáneo podría enjuiciar el escrito de Sotomayor. Ventura Rodríguez fue requerido para ello por el Secretario de Cámara del Consejo. Merece la pena leer con atención la literalidad de sus palabra: «El problema de que trata el señor Don Joaquin pertenece a un punto de los mas delicados de la arquitectura, cual es averiguar el equilibrio del empuje, y peso de arcos y bóvedas con sus muros, en cuya investigación se han fatigado los mas celebres matemáticos y arquitectos, viniendo a para que este asunto es otro arcano como el de la cuadratura del circulo....que muchos ingenios se han lisonjeado haberlos resueltos,....y han quedado con su buen deseo en el mismo estado que los dejó Arquímedes 208 años de la venida de Cristo».[17] Es una crítica dura, ácida e irónica que no merece más comentarios.



Figura 4
Agrietamientos y patología producidos por los empujes de una bóveda tabicada

Benito Bails. 1783

Benito Bails (1731–1797). Miembro de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, cuyos estatutos definitivos datan de 1757, desempeñando en ella una gran actividad, principalmente como matemático y también como profesor y sobre todo como

traductor, por su buen conocimiento del francés. Su espíritu de intelectual ilustrado le condujo ante la Inquisición sufriendo un doloroso y lamentable proceso, del que nunca se conocieron ni los acusadores ni los motivos.[18]

La primera edición de la «Arquitectura Civil» es de 1783, y la segunda de 1796. Bails se reconoce, en el prólogo de su obra, como un escritor cuya profesión no es la de Arquitecto, pero que se ha apoyado en la autoridad de los «Profesores mas acreditados». Para Pedro Navascués «Bails hizo un uso de aquellos «profesores mas acreditados» que rebasa la mera cita ocasional para convertirse en un largo plagio....el servicio de Bails hubiera sido mas honesto si hubiera presentado los textos no como propios sino como literales traducciones de J.F. Blondel, Frézier, Palladio, Milicia y Patte, principalmente».[19]

Benito Bails comienza a tratar las bóvedas en la hoja 379 y, durante 187 páginas prácticamente se limita a transcribir la esterotomía de Frézier. En un libro de texto, como se supone debería ser éste, era obligada la inclusión de autores españoles tan conocidos y reconocidos como Rodrigo Gil de Ontañon, Hernan Ruiz el Joven o Andrés de Vandelvira. Su ausencia es notable y significativa. Solamente cita a Fray Lorenzo de San Nicolas para transcribir parte de sus textos en el apartado que dedica a las bóvedas tabicadas a partir de la página 567. Dentro de este apartado dedicado a estas bóvedas, y una vez concluida la cita de Fray Lorenzo (en este caso correctamente entrecomillada) nos traslada a Francia, al palacio del Mariscal de Beleisle en las cercanías de París, para mostrarnos un ejemplo de bóveda tabicada. Igualmente nos refiere las labradas en la Secretaria del Despacho de la Guerra en Versailles. Ambas, según el relato de Bails, fueron ejecutadas con cimbra. También da cuenta de la construcción de estas bóvedas en Tolosa de Francia, advirtiendo que «consta por experiencia que estas bóvedas pueden estribarse en paredes viejas igualmente que en paredes nuevas; pero cuando se hubieren de labrar sobre paredes nuevas, convendrá dejar pasar unos seis meses para que se sequen y tengan tiempo de hacer su asiento».[20]

Es en el epígrafe «Algunas consideraciones acerca de las bóvedas tabicadas» donde literalmente dice: «Si fuese posible trabar con mezcla las dovelas de una bóveda de modo que formasen un todo de partes tan adherentes unas con otras, que se pareciese a una tapadera o cobertera de puchero, es constante que no tendría ningún empujo, y no necesitarían las paredes en que estribase mas grueso que el competente para aguantar el peso de la bóveda».[21]

Continua diciendo que los materiales con que se labran son el yeso y el ladrillo, y antes de ofrecer diez recomendaciones prácticas, advierte que el yeso es un material que hincha, y que es importantísimo prevenir del empujo que esta acción provoca sobre los machones, puntualizando que sobre este asunto «no han atendido lo que es menester algunos prácticos».

Las diez recomendaciones de Bails para las bóvedas tabicadas son las siguientes:[22]

1. No labrarlas jamás en sitios descubiertos, sino después de cubierto el edificio.
2. Asegurarse de la bondad del yeso y del ladrillo, y que este tenga 21 lineas de grueso
3. Hacer una zarpa de 5 pulgadas 3 lineas alrededor de las paredes
4. Hacer siempre cimbras sólidas, y dejar que sobre ellas descansen algún tiempo las bóvedas después de labradas.
5. No hacerlas extremadamente rebajadas, y darlas de montea cuando mas la octava parte del ancho.
6. Asegurarse contra los efectos de la hinchazón del yeso,...dejar un hueco en cuadro en el sitio de la clave en las bóvedas esquilfadas,...y una holgura de 21 lineas fuera del arranque, en la zarpa.
7. Hacer para mayor resguardo, las lenguetas en forma de arcos de botarete.
8. Llenar los huecos de las lenguetas y las embocaduras de grava trabada con granzas mezcladas con tierra.
9. Asentar en el espinazo, llantas de hierro en aspa, que hagan oficio de tirantes.
10. Dar, después de quitadas las cimbras, un jaharro en el interior de la bóveda de 8 o 9 lineas de grueso.

Para los que hoy trabajamos con estas bóvedas, las ejecutamos, las enseñamos, experimentamos sobre ellas, en definitiva, tenemos la experiencia directa, estas no son las recomendaciones más idóneas. Comenzando por lo mas sustancial, las bóvedas tabicadas a las que nos referimos se construyen sin cimbra, con lo cual el punto 4 no tiene sentido. Sin cimbra es

imposible dejar una holgura en los extremos, para supuestamente evitar la hinchazón del yeso, por lo que el punto 6 no ha lugar. En muchos casos la bóveda sostiene la cobertura, y en esta circunstancia el punto primero igualmente carece de sentido. El punto 9 aconseja colocar unos tirantes de hierro, consejo incongruente para quien está convencido de la ausencia de empujes de tales bóvedas.

En la página siguiente razona sobre la conveniencia de la montea (curvatura) para no confiar solo en el yeso la firmeza de la bóveda. Evidentemente estos textos no pertenecen ni a Blondel ni a Frázier, ni a ninguno de los autores referidos anteriormente. También es evidente que estos no tienen ninguna conexión con el resto de los textos que tratan de bóvedas. Y es de suponer que no son textos propios de Bails. Se desconoce la fuente de estas enseñanzas que se pretenden didácticas. Tampoco son de Fray Lorenzo, cuyo texto transcribe entrecomillado. Todo lo referente a bóvedas tabicadas mas bien parecen inspirados en Joaquin de Sotomayor, introductor en España del Conde de Espié, tanto por las fechas como por el paralelismo de ideas, como por la coincidencia literal de algunos párrafos. Sotomayor se quejaba de que algunos Profesores eran incrédulos a sus argumentos, es de suponer que en este grupo incluía a Ventura Rodríguez, mientras otros se alineaban con sus tesis, entre los que podemos contar a Benito Bails. Dentro de La Academia los criterios no eran uniformes en lo referente a las enseñanzas de arquitectura. Bails ganó la batalla de ser el responsable de los textos académicos, pero eso no le confiere la infalibilidad. Seguramente sucumbió a la vehemencia de Sotomayor, inducido por su falta de conocimiento practico y los conflictos «academicos« con arquitectos ejercientes como Ventura Rodríguez o Juan de Villanueva.

Seguidores de Benito Bails

Una idea extendida entre los que se han dedicado a escribir sobre las bóvedas tabicadas es la ausencia de enseñanzas escritas sobre esta materia, quejándose de que «profesores sabios en este arte no han sido extensos en sus escritos tocante al particular». Así se expresaba Fornes y Gurrea en su tratado de «Observaciones sobre la práctica del arte de edificar» publicado en 1841. La propia terminología de «profesor» está dando una pista de cual es la referencia, el profesor de Real Academia de Bellas Artes de San Fernando D. Bento Bails. Comienza diciendo que las bóvedas tabicadas empujan poco porque el empuje de las bóvedas depende de su desarrollo, de ser más o menos rebajadas y de su grueso.[23] Una teoría clásica y sensata que complementa con unas instrucciones sobre la buena ejecución referente al yeso y los ladrillos que son igualmente aplicables a cualquier fabrica realizada con estos materiales bien sea bóveda o tabique. A partir de aquí da un salto en el vacío y con una pirueta argumental se alinea con las teorías de Sotomayor, asegurando que si se siguen las instrucciones dada sobre la bóveda tabicada, dicha fábrica se reduce a «un cuerpo sólido, igual por ejemplo a una cobertura de puchero, sin más empuje que el de su peso».[24] Estamos ante una transcripción literal del símil, exposición y teoría de Sotomayor. También habla Furnes y Gurrea de las «bóvedas de rosca» diciendo que no ofrecen otra particularidad mas que calcular la resistencia de sus cimbras. No obstante ofrece una solución constructiva para estas bóvedas cuando han de realizarse en un ambiente húmedo consistente en voltear previamente «una bóveda tabicada, y sobre ella se apoyara la rosca; pues cuando se arruina aquella por la humedad ya ha adquirido la rosca toda su consistencia y solidez».[25] No tiene mucho sentido dicha explicación, recomendada para «cloacas y sótanos», por ejemplo en las cloacas supondría la obstrucción de la misma tras la ruina de la bóveda tabicada, y en los sótanos supondría no poderlo utilizar hasta la ruina de la bóveda tabicada pues correría peligro cualquier persona que lo intentara. Esta solución ya la encontramos en Extremadura y no precisamente en locales de esa característica, sino en construcciones domesticas y agropecuarias a las que se le exige una mayor resistencia, como por ejemplo albergar grandes cantidades de cereal, o para almacenamiento de cualquier otra naturaleza (fig. 5). Admitiremos que este tipo de soluciones o propuestas «ingeniosas» no debieron traspasar la frontera del papel, mientras la arqueología no demuestre lo contrario.

Otros autores han repetido, o se han adscrito a la teoría de la tapa de puchero ideada por Sotomayor, para explicar el funcionamiento de la bóveda tabicada, alimentada por la ausencia de otras justificaciones. D. Florencio Ger y Lobez[26] es una buena muestra ello. En su tratado de Construcción civil editado en 1898 repite casi literalmente las indicaciones dadas por Benito Bails para estas bóvedas.



Figura 5
Empleo de una hoja tabicada como cimbra de una arco de un pie y medio de espesor

Mitos

En toda la literatura sobre las bóvedas tabicadas se vienen repitiendo con insistencia, varios mitos. El primero es la ausencia de empujes de estas bóvedas. El segundo es el supuesto efecto nocivo de la expansión del yeso en su proceso de fraguado.

Algunos se encuentran en los textos sin suficiente sustento, sobre todo en autores que plasman las ideas de otros, sin experiencia propia. Tanto es así que igualmente repiten obviedades excesivamente simplistas para cualquier iniciado, como por ejemplo la recomendación insistente de colocar la segunda hoja de una bóveda tabicada a matajunta con la primera para evitar la continuidad de las juntas. A ningún albañil hay que hacerle esta observación cuando está labrando un muro, es un principio tan elemental en el oficio que solo se le explica a los aprendices poco aventajados. El que insista en ello no hará más que evidenciar su condición de aprendiz poco aventajado o neófito en la materia.

Mito de la ausencia de empujes

La teoría de la tapa de puchero viene arrastrándose desde Sotomayor aun cuando fue manifiestamente contestada por la explicación de Ventura Rodríguez. En el caso de Guastavino para discutir su teoría de «construcción cohesiva» no hay mas que echar un vistazo a sus tirantes metálicos escondidos entre la fábrica de ladrillo, o recordar la imagen de prueba de carga donde una pequeña bóveda esta sometida a una columna de carga en la que se aprecian con claridad los tirantes que sujetan las dos vigas de apoyo (fig. 6).



Figura 6
Bóveda tabicada de la fábrica de cementos Asland de los Santos de Maimona en la que se aprecian los tirantes separados un metro para absorber los empujes horizontales

Distintas experiencias llevadas a la práctica por los autores en la Escuela taller de Los Santos de Maimona han permitido determinar las deformaciones y agrietamientos en bóvedas extremeñas tabicadas al permitir desplazamientos controlados de los apoyos aflojando progresivamente los tornillos de sujeción de los tirantes de atado.

La teoría de Bails (tapadera de puchero, que es similar a la de Guastavino, Fornes Albarran, etc.) sería válida si toda la bóveda fuera una pieza cerámica cocida al tiempo y de una vez. La prueba de que este modelo no sirve es la siguiente, si sometemos a una tapadera de puchero a una carga excesiva se romperá en mil pedazos, sin pasar previamente por un estado

de agrietamiento, como sabemos que sucede en las bóvedas. El caracter de monolitismo que adquiere una pieza de cerámica cocida simultánea y uniformemente es consecuencia de la fabricación de un medio continuo (analizable con los conceptos de la mecánica clásica de aplicación al acero) con capacidad para resistir tracciones de forma continuada, como lo hace una tinaja llena de líquido, que de ningún modo es extrapolable a una bóveda fabricada de forma discontinua con unos morteros adheridos a las piezas cerámicas cuya capacidad de resistir tracciones es extraordinariamente limitada.

Mito de la expansividad del yeso

Otro mito sin fundamento creado por Sotomayor y alimentado por Bails es el de los perjuicios derivados de la expansividad del yeso. En este caso resulta fácil determinar el tiempo de fraguado del yeso por laboratorio, y el proceso expansivo, que siempre será mucho mayor que el correspondiente a la ejecución de la propia bóveda.

Toda bóveda tabicada de bien, está construida sin cimbra y por tanto su primera hoja ha de estar tomada con yeso, porque no hay ningún mortero de cemento o cal que endurezca con tal rapidez que permita dejar el ladrillo fijo a los pocos segundos de haber sido colocado por el operario. Sobre esta primera hoja podemos construir otras con otro tipo de mortero, actuando la primera como cimbra, aunque al final las sucesivas capas trabajen como una sola.

El yeso no hace subir las bóvedas por su efecto expansivo en su endurecimiento porque nunca se opera con una cimbra cubriendo el 100% de la superficie de la bóveda, ni la hoja se ejecuta de modo uniforme e instantáneo sino disponiendo siempre de suficiente margen para la expansión del material aportado en las juntas, que siempre es mínima frente a la dimensión de la bóveda.

Notas

1. Marco Lucio Vitruvio. «Los diez libros de arquitectura». Traducción de Agustin Blanquez. Editorial Iberia. Barcelona 1980. Pág 176.
2. Fray Laurencio de San Nicolas. «Arte y uso de Arquitectura». Madrid S.i. 1639 y 1664 Colección Juan Herrera. Albatros ediciones 1989. Pág. 90.
3. Fray Laurencio de San Nicolas. Op. Cit. Pág. 91v.
4. Fray Laurencio de San Nicolas. Op. Cit. Pág. 91v.
5. Fray Laurencio de San Nicolas. Op. Cit. Pág. 92.
6. Fray Laurencio de San Nicolas. Op. Cit. Pág. 93 v.
7. Fray Laurencio de San Nicolas. Op. Cit. Pág. 96.
8. Fray Laurencio de San Nicolas. Op. Cit. Pág. 101 v.
9. Don Joaquin de Sotomayor, Cisneros y Sarmiento, Señor de Allones. «Modo de hacer incombustibles los edificios, sin aumentar el costo de su construcción», Madrid 1776. Facsimil Valencia 1993. Pg 1.
10. Joaquin de Sotomayor, Cisneros y Sarmiento, Señor de Allones, «Modo de hacer incombustibles los edificios, sin aumentar el costo de su construcción». Madrid 1776. Pg 5.
11. Joaquin de Sotomayor, Cisneros y Sarmiento, Señor de Allones, «Modo de hacer incombustibles los edificios, sin aumentar el costo de su construcción». Madrid 1776. N1, pg 23.
12. Joaquin de Sotomayor, Cisneros y Sarmiento, Señor de Allones, «Modo de hacer incombustibles los edificios, sin aumentar el costo de su construcción». Madrid 1776. N2, Pg 24.
13. Joaquin de Sotomayor, Cisneros y Sarmiento, Señor de Allones, «Modo de hacer incombustibles los edificios, sin aumentar el costo de su construcción». Madrid 1776. N 7 Pg 28..
14. Joaquin de Sotomayor, Cisneros y Sarmiento, Señor de Allones, «Modo de hacer incombustibles los edificios, sin aumentar el costo de su construcción». Madrid 1776. N9. Pg 30.
15. Joaquin de Sotomayor, Cisneros y Sarmiento, Señor de Allones, «Modo de hacer incombustibles los edificios, sin aumentar el costo de su construcción». Madrid 1776. N 28 Pg 48..
16. Joaquin de Sotomayor, Cisneros y Sarmiento, Señor de Allones, «Modo de hacer incombustibles los edificios, sin aumentar el costo de su construcción». Madrid 1776. N 43, Pg 60–61.
17. Ventura Rodríguez. «Censura de D. Ventura Rodríguez, arquitecto mayor de Madrid, en carta al secretario de Cámara del Consejo». Joaquin de Sotomayor, Cisneros y Sarmiento, Señor de Allones, «Modo de hacer incombustibles los edificios, sin aumentar el costo de su construcción». Madrid 1776. Servicios de reproducción de libros Librerias Paris-Valencia. Valencia 1993.
18. C. Bédat, «Don Benito Bails,Director de Matematicas de la Real Academia de San Fernando desde 1768 a 1797. Su biografía, su «Elogio» y sus dificultades en la Inquisición», Academia 1968, núm. 27, pp. 19–50.
19. Pedro Navascués Palacio.«Benito Bails. De la Arquitectura civil. Tomo Primero. Estudio crítico» Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Murcia. Valencia 1983. pp. 73.
20. Benito Bails. «Elementos de Matemáticas. Tomo IX.

Parte I. Que trata De la Arquitectura Civil». Segunda edición Madrid 1796. Pg 576.
21. Benito Bails. «Elementos de Matemáticas. Tomo IX. Parte I. Que trata De la Arquitectura Civil». Segunda edición Madrid 1796. Pg 579.
22. Benito Bails. «Elementos de Matemáticas. Tomo IX. Parte I. Que trata De la Arquitectura Civil». Segunda edición Madrid 1796. Pg 580.
23. Fornes y Gurrea. «Observaciones sobre el arte de edificar» Valencia 1841 Pg 36.
24. Manuel Fornes y Gurrea. «Observaciones sobre el arte de edificar» Valencia 1841 Pg 37.
25. Fornes y Gurrea. «Observaciones sobre el arte de edificar» Valencia 1841 Pg 36.
26. Florencio Ger y Lobez «Tratado de Construcción Civil». Badajoz 1898.

La construcción civil de la Barcelona moderna

Albert Fuster

La Guerra de Sucesión que acaba con la caída de Barcelona en 1714 supone una crisis social y económica de la que Catalunya tardará décadas en reponerse. Es durante el último tercio del siglo, con el incipiente desarrollo de la industria textil que se expande definitivamente con la apertura del comercio con América a todos los puertos españoles decretada por Carlos III en 1778, en que se produce un cambio económico cuyas consecuencias pueden identificarse en diversos ámbitos. En el ámbito de la arquitectura y la construcción, en el primer tercio del siglo Barcelona sufre, además de las consecuencias directas de la citada crisis social y económica, la modificación radical del barrio de la Ribera, que será parcialmente derribado con el fin de levantar la nueva Ciudadela en el Este de la ciudad. Esta iniciativa urbana, desarrollada por el ingeniero militar borbónico Próspero de Verboom, inicia la influencia, todavía difícil de valorar en su alcance (Montaner 1990; Rosell 1996), de los ingenieros militares en la construcción barcelonesa del s. XVIII. El desarrollo del barrio de la Barceloneta a partir de 1753, según una idea del propio Verboom pero bajo proyecto de Juan Martín de Cermeño, supone el mayor ejemplo urbano de esta influencia. De origen militar es también el proyecto urbano más importante del último tercio del siglo, el derribo de la muralla de la Rambla y la conversión definitiva de esta zona de la ciudad en paseo urbano.

La Rambla de Barcelona, cuya traza había sido definida por la primera muralla medieval de finales del s. XIII, se había convertido, por la construcción sólo medio siglo más tarde de un perímetro mayor de muralla por el extremo occidental, en una área urbana con un papel mixto de límite, destinado a usos diversos. Limitada en su lado oriental por el lienzo de muralla, en el lado occidental de la Rambla se desarrollaron sucesivamente edificios de congregaciones religiosas mezclados con una trama agraria y de talleres. A partir de 1714, con la militarización de su extremo sur y el desarrollo edilíceo de su lado occidental, la Rambla adquiere cada vez mayor carácter urbano. Finalmente, bajo el mandato del capitán general Marqués de Ricla y el gobernador Conde de Asalto, en 1773 se concreta una idea de Paseo a la manera del Paseo del Prado de Madrid (Arranz 2003).

Los palacios urbanos

El fenómeno de desarrollo social y económico de finales de s. XVIII supone un aumento de la construcción de edificios civiles, de los cuales cabe destacar los palacios urbanos edificados por la nobleza y la nueva burguesía. Estos palacios tratan de combinar la compleja relación entre su uso de vivienda, su carácter social y administrativo, y su voluntad representativa a escala urbana. En el caso de la Rambla, en su lado occidental se construye entre 1772 y 1778 el llamado Palacio de la Virreina, que mandará construir Ferran Amat, Virrey del Perú, bajo un proyecto ideado por el mismo (*Catàleg* 1987). Sin embargo,

este proyecto resulta de difícil encaje, al tratarse de un edificio de génesis insólita, según una alineación a calle que resultó obsoleta en pocos años y desarrollarse estética y formalmente con numerosos elementos de un barroco en cierto sentido ya desfasado.

El Palacio Moja y el Palacio Marc

Los palacios más representativos de este nuevo momento de la arquitectura barcelonesa son el Palacio Moja y el Palacio Marc. Edificados en el lado de la muralla derribado en 1774, y con un programa similar en su génesis y desarrollo, ambos son encargados en ese mismo año por personajes de importancia social y económica de la ciudad a los principales arquitectos y maestros de obra de la época. El Palacio Marc (fig. 1) lo encarga Salvador March i Bellver, empresario de enriquecimiento meteórico de Reus (Balcells, 2003: 545), al arquitecto Joan Soler Faneca, cuando este último se hallaba desarrollando su obra más importante, la remodelación de la Llotja de Barcelona (Alcolea 1984). Por otro lado, Maria Lluïsa de Copons i Descatllar, Marquesa de Cartellà i Moja y esposa de un oficial de Carlos III, encarga la ampliación de su Palacio (fig. 2) a Josep Mas i Dordal, que había sido Maestro de obras del Ayuntamiento de Barcelona, cargo que por entonces ostentaba su hermano Pau (Arranz 1991). Existe una importante coincidencia tipológica entre ambos edificios, marcada en gran medida por una Ordenanza que exigía unas alturas reguladoras y de planta baja, a la vez que una serie de elementos constructivos y de acabado de las fachadas (Arranz Fuguet 1987, 181–183). Así, ambos son de ochenta y seis palmos de altura, con planta baja de veintidós palmos, y dos plantas piso, con cornisa de remate, y con la piedra como elemento de acabado de las plantas bajas y los guarnecidos de los huecos en plantas piso.



Figura 2
Palacio Moja (1774–1789) Fachadas a La Rambla y calle Portaferrissa

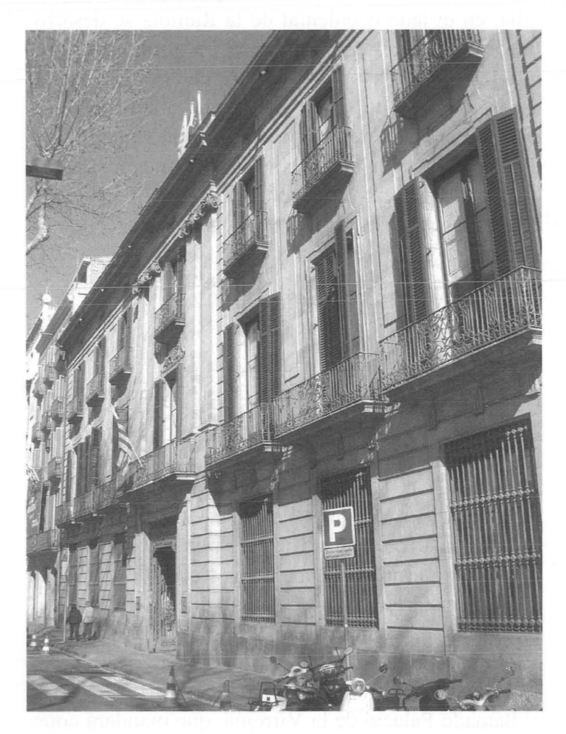


Figura 1
Palacio Marc (1774–1781). Fachada a La Rambla

Sus fachadas y tipologías, de sencillas proporciones y esquema compositivo, quedarían enmarcados en lo que César Martinell nombró Barroco Académico (Martinell 1963). Los elementos formales más distintivos entre ambas fachadas son el recurso a elementos propios del clasicismo en el caso del Palacio Marc, como son las pilastras jónicas de la parte central o el denticulado en el arranque de la cornisa. En el Palacio Moja, el único elemento clásico son los frontones que rematan los cuerpos centrales de las tres fachadas, mientras que las ménsulas o las decoraciones del arco de entrada denotan una mayor in-

fluencia del barroco. Estos recursos repiten en gran medida los utilizados por ambos arquitectos en los dos principales edificios que estaban realizando simultáneamente: la remodelación de la Llotja en el caso de Soler Faneca, y la fachada a Plaça Nova del Palacio Episcopal en Mas i Dordal.

El desarrollo de la planta mantiene también similitudes, en una estructura típica de las casas señoriales barcelonesas, y de cierta influencia del renacimiento italiano (Alcolea 1984). A través de una puerta en el centro de la fachada se accede, por crujía simple o doble, a un patio interior del que arranca la escalera de acceso a la planta noble. Esta se desarrolla alrededor del patio pero, dadas las reducidas dimensiones del mismo en ambos casos, las principales salas se sitúan en fachada. El acceso a la planta superior, de servicio, se realiza por una escalera secundaria que comunica también con la zona de almacenaje y servicios de planta baja. Sin embargo, las grandes similitudes tipológicas y formales se truecan en sutiles diferencias en un análisis detallado de los elementos constructivos de aquellas partes que se han mantenido casi inalteradas desde su construcción. A través de este análisis puede intuirse cómo el desarrollo de ambas obras responde a voluntades muy distintas, que quedan en gran medida reflejados en las técnicas utilizadas en su construcción.

Los elementos constructivos

Los materiales y técnicas constructivas son coincidentes casi por completo en los dos edificios, y contienen la mayoría de elementos que formarán la llamada *construcción catalana* (Rosell 1996). Este tipo de construcción acoge nuevos materiales y sistemas constructivos, con el fin de aligerar de peso los elementos constructivos y tender a un mayor uso de la albañilería frente a la cantería. Los muros de fachada son de mampostería y los interiores de ladrillo macizo de diverso espesor. Las plantas bajas están cubiertas por bóvedas tabicadas de uno a tres gruesos de ladrillo. En el caso del Palacio Marc el recurso es casi único a las bóvedas falsas vaídas, mientras que en el Palau Moja existen también bóvedas de lunetos, siendo especialmente destacable la que cubre la crujía con fachada a la Rambla, que es actualmente un paso porticado. El resto de plantas tienen forjados de biguetas de madera y bovedilla de ladrillo. Las cubiertas son planas ventiladas con pavimento de baldosa cerámica fina. Estos elementos han sido profundamente modificados por diversas reformas en sus años de historia, y únicamente las fachadas, los patios y alguna sala interior conservan su aspecto y materiales originales.

Matices en el uso de los materiales y técnicas

El Palacio Marc presenta su fachada a calle de sillares en toda su extensión, con un almohadillado en el podio y en las franjas de límite con los edificios colindantes. Las losas de balcón están soportadas, en la planta primera, por ménsulas de piedra que montan sobre la última hilada de almohadillado del podio (fig. 3). Estos dos recursos fueron también utilizados por Soler Faneca en la fachada de la Llotja (fig. 4). En el Palau Marc, en cambio, las balaustradas de planta primera de la Llotja son sustituidas por baran-

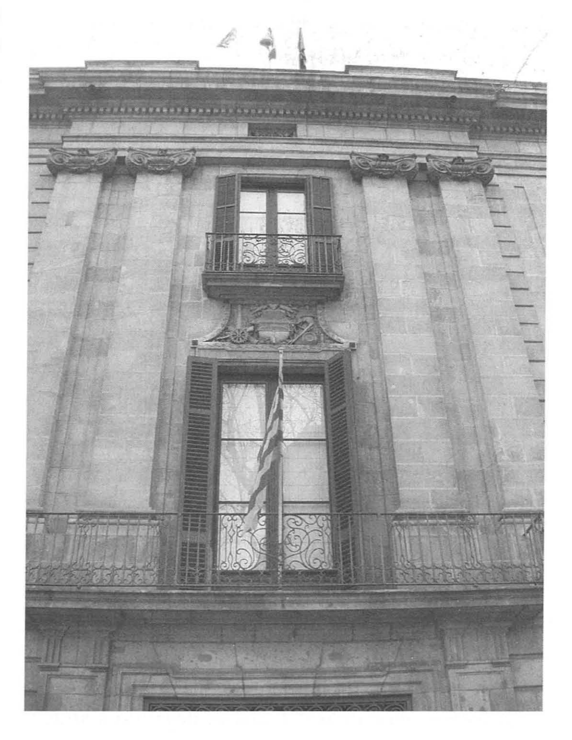


Figura 3
Cuerpo central del Palacio Marc

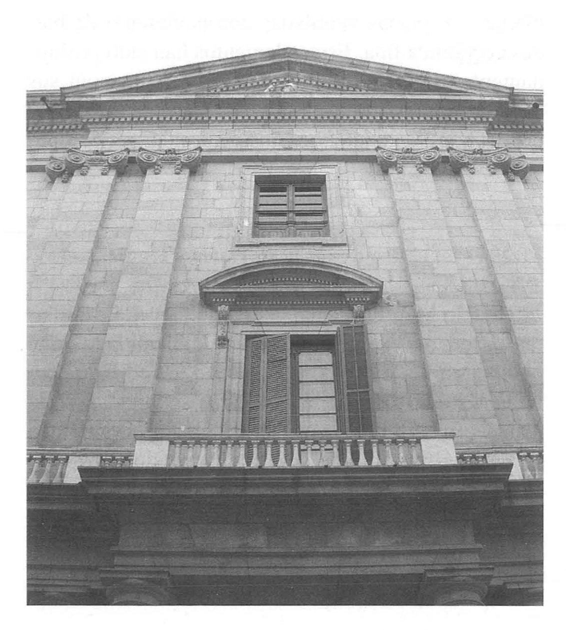


Figura 4
Cuerpo central de la Llotja de Barcelona (1774–1802)



Figura 5
Detalle de fachada del Palacio Moja (extraída de Alcolea 1988)

dillas de hierro forjado, que se repiten en la planta superior.

El Palau Moja se resuelve constructivamente de una forma sensiblemente distinta. El zócalo es de sillares, pero el almohadillado aparece sólo en el arranque de las pilastras que se sitúan en los límites de la fachada, y en la parte central de las tres fachadas, la principal de Portaferrissa, la de la Rambla y la interior a jardín. En las dos plantas superiores, los sillares quedan limitados a los enmarcados de los ventanales, dejando entre ellos espacios de revoco destinados a ser decorados por importantes artistas locales. Son también de piedra las franjas horizontales de moldura y antepecho que se repiten a nivel de planta primera y segunda (fig. 5).

Frente a la uniformidad de fachada del Palacio Marc, estos dos elementos del Palacio Moja revelan una voluntad expresiva a la que la construcción responde perfectamente. Por un lado, las molduras que repiten exactamente la sección del canto de las losas de balcones ligan todo el edificio, llegando a atravesar las plilastras almohadilladas y entregándose a las fincas vecinas. Por otro lado, la concreción de unas franjas de piedra y unos lienzos de estuco, como estaba realizando en el mismo momento en el Palacio Episcopal de la Plaça Nova (fig. 6), permiten a Mas i Dordal un mayor control del despiece de los elementos de piedra.

Mediante un análisis más detallado, puede observarse cómo el despiece del lienzo de sillares se desarrolla de forma irregular en la fachada a calle del Palacio Marc. Si bien en las pilastras las juntas verticales están perfectamente aplomadas, esta perfección se descuida en otros elementos principales de la fachada como las jambas y guardapolvos de los huecos. De la misma forma, las piezas de la cornisa no siguen un ritmo constante, sino que parecen colocadas sin ningún tipo de cuidado en las juntas. En el Palacio Moja la resolución es completamente



Figura 6
Fachada a Plaça Nova del Palacio Episcopal de Barcelona (1782–1785)

distinta. El despiece de las franjas de piedra, contínuamente limitadas por los lienzos de revoco, se realiza con mayor precisión en el aparejo. Este cuidado diferencial en el desarrollo de la junta es especialmente relevante en el tratamiento de los guardapolvos, cuyas juntas se muestran completamente simétricas en el caso del Palau Moja, y que reflejan un completo descuido en el caso del Palau Marc (figs. 7 y 8).

Pero este tratamiento diferencial se enfatiza en el análisis del resto de fachadas y patios de ambos edificios. La fachada interior del Palacio Marc, que daba antiguamente a un extenso jardín que actualmente ha desaparecido, está resuelta de forma completamente distinta a la fachada a calle (fig. 9). Sumada a un cambio de proporción respecto a la fachada a calle (de 3–1–3 a 1–2–1–2–1) se desarrolla aquí una devaluación de los elementos constructivos que la componen. Los elementos de piedra se reducen a la parte central y las dos extremas, almohadilladas en toda su superficie, y a los guarnecidos de los huecos. Sólo existen ventanales en la primera planta, mientras que en la planta segunda se realizan unas ventanas más propias de un entablamiento clásico a la manera de Blondel. El descontrol en la ejecución del despiece de lienzo de sillares es aquí mayor, y sólo se mantienen un cierto aplomado de las juntas en las dos pilastras jónicas de la franja central. El resto de muro presenta un revoco que, supuestamente, trataba de reproducir las juntas del aparejo de sillares (fig. 10). La perfección en el despiece de las



Figura 7
Ventanal de planta primera del Palacio Moja

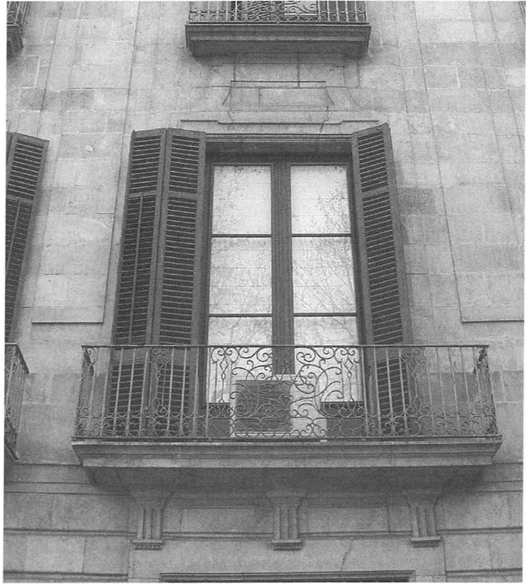


Figura 8
Ventanal de planta primera del Palacio Marc



Figura 9
Fachada interior del Palacio Marc



Figura 10
Detalle de acabados de la fachada interior del Palacio Marc

falsas juntas del revoco delata más, si cabe, el deficiente trabajo de las franjas de piedra. El carácter marcadamente barroco de la fachada respecto a la de la calle —volumen de fachada, recurso al almohadillado, excesivo tamaño de las cartelas de balcón— viene acompañado de una defraudante resolución constructiva.

Esta situación se repite en el patio interior. Tratándose del espacio principal para el uso social del palacio, los elementos constructivos se ejecutan aquí con una calidad muy limitada. El podio y la zona de arranque de la escalera señorial suponen uno de los momentos más afortunados del patio (fig. 11) recurriendo a un despiece de piedra que mezcla los sillares de los arcos torales con los aplacados de las enjutas hasta la moldura. Las dos plantas superiores, sin embargo, están resueltas con una apabullante simplicidad. La piedra desaparece aquí por completo salvo en las jambas y dinteles de los huecos, que tienen un guarnecido de montea de gran simplicidad. El resto de lienzo del patio, supuestamente de mampostería, queda para recibir un revoco con una sencilla decoración (fig. 12).

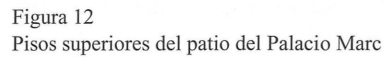


Figura 11
Escalera señorial en patio del Palacio Marc

En el Palacio Moja, en cambio, las tres fachadas, dos a calle y una a jardín pero visible desde la Rambla, están resueltas del mismo modo. En el patio interior se mantiene también el mismo tratamiento que en el resto de fachadas. Los soportes de los arcos y los arcos mismos son de sillares completos (fig. 13), que a pesar de tener una menor decoración que en el Palacio Marc, se muestran de forma sincera en su acabado. En las plantas superiores se mantiene el cuidado en el despiece de jambas y guardapolvos descrito anteriormente en la fachada a calle, llegando incluso a estar más finamente resueltas las primeras (fig. 14). El control del despiece, las franjas de piedra y revoco y la «sinceridad» de la planta baja dotan



Figura 12
Pisos superiores del patio del Palacio Marc



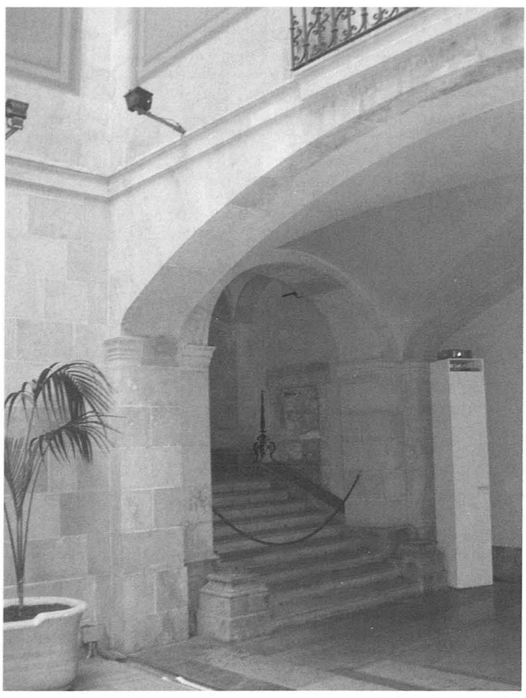


Figura 13
Planta baja en patio del Palacio Moja

al patio de una dignidad equiparable a las fachadas urbanas. Existe, además, una sensibilidad especial en el contacto con el resto de la ciudad, enfatizado en el uso de la moldura corrida en las dos plantas y en la creación de un cuerpo de menor tamaño en contacto con las edificaciones vecinas.

LO REAL Y LO FICTICIO

El análisis de los elementos de fachada y patio de los Palacios Moja y Marc refleja una cierta tensión existente entre la realidad constructiva y el poder simbólico de las técnicas constructivas. Es conocida la progresiva atracción por los materiales artificiales que imitaban en su acabado jaspes y mármoles en la Barcelona de finales de s. XVIII. Existen noticias de periódicos de la época (Triadó 1987, V: 230–232, cita dos noticios del Diario de Barcelona de 1792) en las que se habla de piedras artificiales «sólidas y macizas . . . a diferencia de las que practican los extranjeros de esta ciudad en las obras, de estuco y escayola». Probablemente, el más claro ejemplo de esta postura sea el edificio de Aduanas construído por el Conde de Roncali a partir de 1790, en el que la fachada recurre constantemente a acabados imitando piedras nobles (*Catàleg* 1987, 312; Rosell 1996) (fig. 15).

Los dos palacios estudiados responden de forma muy diversa a esta tensión entre el uso de materiales reales o «ficticios», y la capacidad de los materiales y su técnica de aplicación de representar el deseo del comitente. El Palacio Marc refleja en todos sus elementos una postura plenamente de fachada, incitada por un *parvenu* (Triadó 1984, V: 233) como Salvador March. Su voluntad de nuevo rico le lleva a encargar su edificio al más popular arquitecto barcelonés del momento, pero mediante un contrato en el que exige pleno cumplimiento de sus voluntades como propietario y en una obra que estuvo plagada

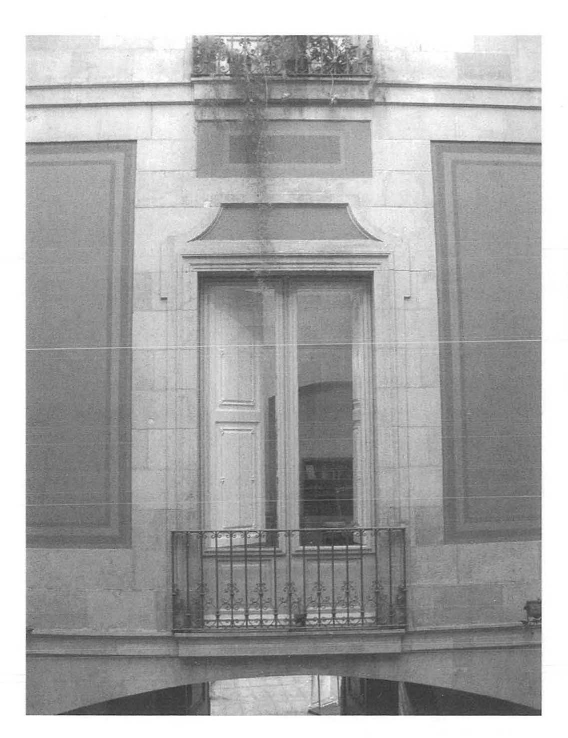


Figura 14
Ventanal de planta superior del patio del Palacio Moja



Figura 15
Aduana de Barcelona (1790–1792)

de conflictos a pesar de la relativa brevedad de sus seis años de ejecución (Arranz 1987). Soler Faneca responde a ello con una serie de recursos ya usados en La Llotja, con el fin de cumplir el papel preponderante de representatividad urbana que el encargo tenía a través del uso de referencias clásicas en la arquitectura y en el uso de los materiales. Por ello mismo, en el desarrollo del resto de fachadas, la fragilidad de estos recursos se refleja con la devaluación de los elementos constructivos.

Por otro lado, el Palacio Moja refleja en su ejecución un compromiso del maestro de obras y del comitente, la Marquesa de Cartellà i Moja, con la obra completa, tratando de resolver de forma unitaria y con una misma solución constructiva los diversos elementos del edificio. Un ejemplo de ello es el recurso a lienzos para ser pintados, en los que se realizan pinturas que explican la historia real de la familia, mostrando así la importancia y antigüedad de su linaje. El encargo realizado por una Marquesa de vieja nobleza a un maestro de obras plenamente ligado a la ciudad debía probablemente conllevar una constante reformulación del proceso, adaptando la voluntad del comitente a los recursos disponibles. Este proceso de encaje y reformulación puede explicar en cierta medida el retraso que sufre la obra en sus primeros años, y la rapidez con que es definitivamente ejecutada (Alcolea 1988).

Los elementos descritos muestran además una línea de recursos clásicos y uso masivo de la piedra en fachada en el Palacio Marc con cierta tendencia a despararecer. Mientras, en la construcción del Palacio Moja aparecen una serie de elementos (la moldura horizontal, el uso de ménsulas en las dos plantas superiores, el control de las franjas de piedra y las franjas de revoco, la eliminación de pilastras y otras referencias clásicas) que serán de uso masivo en la construcción barcelonesa del s. XIX. La resolución cosntructiva de los elementos de fachada reflejan, en ambos palacios, el difícil encaje entre comitente y constructor de las obras. Este proceso se desencadena en la Barcelona de finales de s. XVIII con los dos ejemplos descritos, en la que la nobleza, la nueva burguesía y los arquitectos y maestros de obra tratan de ajustar sus pretensiones simbólicas y su capacidad económica a los recursos técnicos y arquitectónicos. Esta situación se regulariza, al cabo de medio siglo, con el encaje casi perfecto entre la burguesía catalana y los arquitectos y especialmente maestros de obras que construirán el Eixample a partir de 1860 (Bassegoda 1973, Paricio 2001).

Lista de referencias

Alcolea i Blanch, Santiago. 1988. *El Palau Moja: una contribució destacada a l'arquitectura catalana del segle XVIII.* Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Cultura.

Arranz, Manuel y Fuget, Joan. 1987. *El Palau Marc: els March de Reus i el seu palau a la Rambla de Barcelona.* Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Cultura.

Arranz, Manuel. 1991. *Mestres d'obres i fusters: la construcció a Barcelona en el segle XVIII.* Barcelona: Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona.

Arranz Herrero, Manuel. 2001. *La Menestralia de Barcelona al segle XVIII: els gremis de la construcció.* Barcelona: Proa.

Arranz, Manuel. 2003. *La Rambla de Barcelona: estudi d'història urbana.* Barcelona: Dalmau.

Balcells, Albert (dir.). 2004. *Història de Catalunya.* Barcelona: La Esfera de los Libros.

Bassegoda i Nonell, Joan. 1973. *Los maestros de obra de Barcelona* Barcelona: E.T.A.S.A.

Catàleg del Patrimoni arquitectònic Històrico-Artístic de la Ciutat de Barcelona. 1987. Barcelona: Ajuntament de Barcelona.

Martinell, Cèsar. 1963. *Arquitectura i escultura barroques a Catalunya. Vol. III Barroc acadèmic.* Barcelona: Alpha.

Montaner, Josep Maria. 1990. *La modernització de l'utillatge mental de l'arquitectura a Catalunya (1714–1859).* Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.

Paricio, Antoni. 2001. *Secrets d'un sistema constructiu: l'Eixample.* Barcelona: Edicions UPC.

Rosell, Jaume. 1996. *La construcció en l'arquitectura de Barcelona a finals del segle XVIII.* Tesi doctoral. Barcelona.

Triadó, Joan Ramon (ed.). 1984. *Història de l'art català. Vol. V L'epoca del barroc s. XVII-XVIII.* Barcelona: Edicions 62.

Un enfoque para el análisis límite de las escaleras de fábrica helicoidales

José Antonio García Ares

La escalera de caracol es un tipo constructivo que se emplea desde la antigüedad adaptándose a los distintos materiales y sistemas constructivos a lo largo de la Historia. Así, las encontramos en catedrales medievales, edificios renacentistas, barrocos o en muchas de las construcciones actuales. Y construidas en sillería, bóveda tabicada, piezas de fundición, acero, hormigón armado o incluso en madera.

Palladio (1570) trata este tipo de escaleras en el capítulo XVIII de sus *Quattro Libri dell'Architecture,* resaltando la bondad de una modalidad de ellas: las escaleras helicoidales sin apoyo central, ya que permiten el paso de la luz y la permeabilidad visual entre los distintos niveles. Según él, «Funcionan muy bien las que no cuentan con apoyo en el centro ya que permiten el paso de la luz desde los niveles superiores, y posibilitan que los que están en lo más alto vean a los que suben y a su vez sean vistos por ellos». Y prosigue más adelante: «He construido una escalera sin apoyo central en el monasterio de la *Caritá* en Venecia la cual funciona de un modo admirable».

El arquitecto inglés Iñigo Jones (1573–1652) sería el primero en construir una escalera de caracol de este tipo en Inglaterra: la *Tulip staircase,* que se encuentra en la Queen's House en Greenwich. Considerado como el introductor de la arquitectura renacentista en ese país, Jones fue un gran estudioso de la arquitectura Romana e Italiana y se interesó particularmente por la obra de Palladio. Despúes de él, Robert Hooke y Christopher Wren construirían la del *Monument* en Londres. Este tipo de escaleras se denomina en Inglaterra *cantilevered staircases* (escaleras en voladizo).

Autores como Heyman (1995) o Price y Rogers (2005) han tratado el análisis de estas escaleras ba-

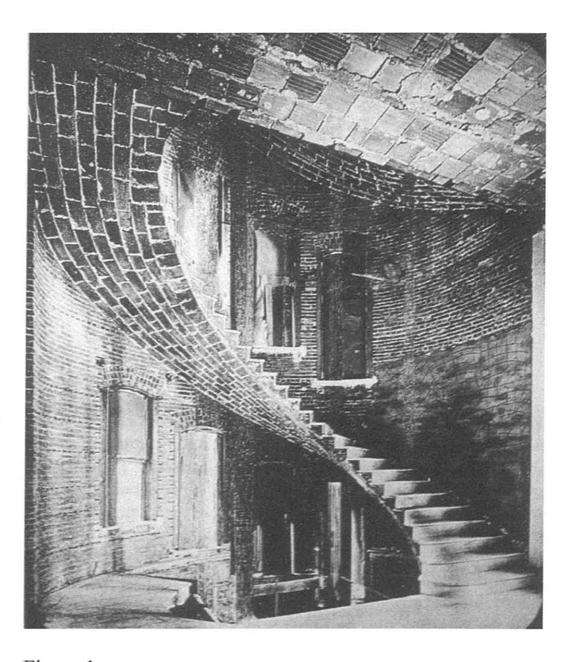


Figura 1
Estructura tabicada helicoidal debida a Guastavino para la construcción de una escalera de caracol con óculo central. (Imagen: Avery Library, Universidad de Columbia, USA)

sando su comportamiento estructural en esfuerzos de torsión en cada una de las piezas que constituyen los escalones. Si bien este enfoque puede ser válido para las *cantilevered staircases*, no se puede aplicar a otras como las diseñadas y ejecutadas por los Guastavino con su técnica tabicada. Calladine (2005) sí que aborda el análisis de una escalera de caracol tabicada, pero la considera una «lámina helicoidal uniforme de material elástico» y realiza un análisis de membrana.

El presente artículo se centra en estudiar el comportamiento estructural de las escaleras/rampas de fábrica de forma helicoidal (planta circular y óculo central) desde el punto de vista del análisis límite. Se buscará una solución de equilibrio que siendo compatible con las cargas no viole la condición límite del material. Es decir una solución para la cual no aparezcan tracciones y que los esfuerzos de compresión estén contenidos dentro de la fábrica.

Una vez expuesta la solución de equilibrio y a la vista de ésta se propondrá una «forma ideal» para este tipo de estructuras. También se vera la aplicación del análisis a escaleras helicoidales de planta oval.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Antes de abordar el análisis es necesario definir primeramente la estructura a analizar desde distintos puntos de vista: formal, material y espacial. La definición formal atenderá a su configuración geométrica, mientras que la material explicará la constitución de las piezas que la componen y la relación entre ellas. La definición espacial consistirá en consideraciones sobre el lugar que ocupa la estructura dentro del resto del edificio y las relaciones con los elementos adyacentes, es decir, se referirá a las condiciones de contorno.

La geometría

El helicoide es una superficie reglada no desarrollable que viene definida por las ecuaciones paramétricas:

$$x(u, v) = u \cos(v) \tag{01}$$

$$y(u, v) = u \operatorname{sen}(v) \tag{02}$$

$$z(u, v) = c\, v \tag{03}$$

De esta superficie tomaremos sólo una región que quedará acotada del siguiente modo:

$$r_1 \leq r \leq r_2 \tag{04}$$

$$0 \leq \gamma \leq \gamma_d \tag{05}$$

Donde r_1 y r_2 serán el radio interior y exterior respectivamente y γ_d el paso de la hélice. Por ejemplo si $\gamma_d = 2\pi$ estaremos considerando un paso. El coeficiente c lo expresaremos en función de h que será la altura que la escalera salva para γ_d. Entonces las ecuaciones (1, 2 y 3) quedarán así:

$$x(r, \gamma) = r \cos(\gamma) \tag{06}$$

$$y(r, \gamma) = r \operatorname{sen}(\gamma) \tag{07}$$

$$z(r, \gamma) = \frac{h}{\gamma_d} \gamma \tag{08}$$

De esta manera tenemos definida la superficie helicoidal a estudiar. Aún nos queda, sin embargo, dotarla de un cierto grosor que permita su materialización constructiva. Denominaremos g a la distancia que desplazaremos verticalmente el fragmento de hélice. Nótese que de este modo la estructura helicoidal tendrá un grosor vertical constante y el peso propio será también uniforme. Además cualquier plano vertical que pase por el eje cortará al intradós y al extradós en rectas horizontales. Esta configuración geométrica simplificará, como veremos, el proceso de análisis y para grosores pequeños (escaleras tabicadas) y pendientes no excesivamente acusadas es un modelo que se aleja poco de la realidad construida y podrá darnos una idea bastante buena del su comportamiento estructural.

Consideraciones sobre el material

Entendemos por fábrica una construcción formada por un conjunto de piezas ya sean de piedra, ladrillo u otro material rígido, dispuestas de tal modo que formen una estructura estable. Pueden estar unidas entre sí con algún mortero o simplemente unas sobre las otras. De cara al análisis estructural la fábrica puede ser caracterizada por tres hipótesis básicas (Heyman 1999):

I. La fábrica no tiene resistencia a tracción.
II. En los tamaños habituales de los edificios las tensiones que se dan son tan bajas que podemos considerar que la fábrica tienen una resistencia a compresión ilimitada.
III. No es posible el fallo por deslizamiento.

Estas hipótesis son de gran utilidad ya que como señala Heyman nos permitirán analizar la estructura dentro del marco del análisis límite. En cualquier caso se trata de hipótesis simplificadoras, en general del lado de la seguridad, que deberán ser comprobadas a posteriori.

Hipótesis sobre las condiciones de contorno

Antes de continuar estableceremos unas hipótesis sobre las condiciones de contorno que permitirán centrar la atención del análisis en la estructura helicoidal. Consideraremos que está construida, confinada podríamos decir, dentro de un cilindro infinitamente rígido capaz de resistir y conducir al terreno cualquier empuje que la escalera pueda transmitirle. Consideraremos del mismo modo que los apoyos de los otros dos bordes no libres que nos quedan, es decir el arranque y el desembarco, podrán también soportar los empujes que les sean transmitidos por la escalera. Así podremos abordar el análisis aislando nuestra estructura del resto de la construcción. Siempre podremos luego comprobar con los empujes obtenidos que estas hipótesis son aceptables. En el caso del cilindro la cuestión sería comprobar que para un grosor dado del mismo es capaz de aguantar el empuje. En el caso del arranque y desembarco habría que estudiar su configuración geométrica y constructiva y ver si son compatibles con los empujes que la escalera pueda transmitirles.

El análisis de la estructura

Dentro del marco del análisis límite aplicado a las estructuras de fábrica, caracterizada por las tres hipótesis básicas que hemos visto, podemos enunciar el teorema fundamental de la seguridad del siguiente modo: si se puede encontrar un estado de esfuerzos de compresión dentro de la fábrica, en equilibrio con las acciones, la estructura será segura y no colapsará. (Heyman 1999; Huerta 2004) Al ser la estructura hiperestática existirán infinitos estados de equilibrio que no violan las hipótesis del material. Cada uno de ellos podrá ser representado por una línea de empujes. En el caso de estructuras tridimensionales, como lo es una escalera helicoidal, podemos hablar de superficies de empujes. A lo largo de este apartado se tratará de buscar una de estas soluciones de equilibrio aplicando el método de los cortes combinado con el cálculo diferencial para obtener finalmente las ecuaciones de los empujes.

El método de los cortes, cortes infinitesimales

En el caso de estructuras tridimensionales es de gran utilidad el empleo del método de los cortes (Heyman 1999) que permite analizar el problema, o al menos parte de él, de un modo bidimensional. El procedimiento consiste, en primer lugar, en imaginar la estructura dividida en una serie de partes. Para cada una ellas se obtienen luego los empujes que ejercerán

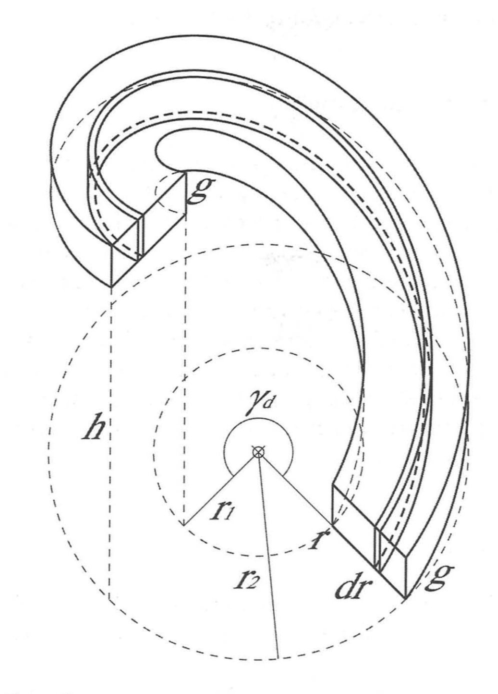


Figura 2
Rampa helicoidal con los parámetros geométricos considerados. Se muestra un corte de grosor infinitesimal ∂r limitado por dos cilindros concéntricos de eje coincidente con el del helicoide y de radios r y $r + \partial r$. (Dibujos del autor)

sobre los apoyos o/y sobre las otras partes. Si al final todas las reacciones están en equilibrio, y las líneas de empujes contenidas dentro del grosor de la fábrica la solución obtenida será segura, y basándonos en el teorema fundamental de la seguridad podremos afirmar que la estructura no colapsará.

Dada la configuración geométrica de la escalera de caracol definiremos los cortes de un modo un tanto especial. Lo habitual consiste en considerar una cierta familia de planos paralelos, en el caso de bóvedas de cañón, o radiales, en el caso de cúpulas de revolución. En este caso consideraremos una familia de cilindros concéntricos con eje coincidente con el eje del helicoide. Así, cada uno de los cortes estará delimitado entre dos cilindros, uno de radio $r(r_1 \leq r \leq r_2)$ y otro de radio $r + \partial r$. El hecho de considerar cortes infinitesimales nos permitirá posteriormente empleando procedimientos de integración obtener las ecuaciones de los empujes.

El equilibrio de los cortes. Equilibrio plano del corte desplegado

La figura 3 representa el corte de grosor infinitesimal desplegado. Como se puede observar nos encontramos ante un arco adintelado inclinado para el cual no es posible encontrar ningún mecanismo de colapso y por tanto es infinitamente resistente (Heyman 1999). De las infinitas líneas de empuje se ha dibujado la de empuje mínimo que considerando cortes verticales será una parábola tangente en el punto medio del extradós. Sabiendo esto y con la ayuda de la construcción que se muestra en la figura, resulta sencillo hallar los valores de las resultantes verticales y horizontales de los empujes, así como la ecuación de la línea de empujes desarrollada:

$$R_H = \frac{r^2 \gamma_d^2 \rho}{8} \partial r \tag{09}$$

$$R_{V\alpha} = \frac{1}{8} r \gamma_d \rho (4g + h) \partial r \tag{10}$$

$$R_{V\beta} = \frac{1}{8} r \gamma_d \rho (4g - h) \partial r \tag{11}$$

$$\text{L.E.} \rightarrow f(x) = \frac{-4g}{r^2 \gamma_d^2} x^2 + \frac{4g + h}{r \gamma_d} x \tag{12}$$

Nótese que la resultante horizontal dependerá tan solo del radio r y de la densidad de la fábrica ρ. Las resultantes verticales dependerán además del grosor g y de la altura h.

En la figura 4 se ha *enrollado* de nuevo el corte de la figura 3 incluyendo la línea de empujes. Ahora bien, para que ésta se encuentre contenida dentro del corte y, por tanto, siga la trayectoria helicoidal, necesitaremos una serie de fuerzas horizontales radiales, normales a la superficie cilíndrica del corte, que la vayan *doblando* tal como se muestra en la figura.

Para comprender mejor y poder obtener el valor de este empuje partiremos de una escalera poligonal de n lados cuya planta se muestra en la figura 5. En este caso, el corte infinitesimal será también poligonal y podremos obtener de manera análoga la resultante horizontal del empuje para el corte desarrollado que será constante a lo largo de toda la línea de empujes. Centrémonos ahora en cualquiera de sus vértices. Para que se produzca el cambio de dirección en la línea de empujes necesitaremos una fuerza F_r tal que $R_{HE} + F_r = R_{HS}$, siendo las magnitudes de R_{HE} y

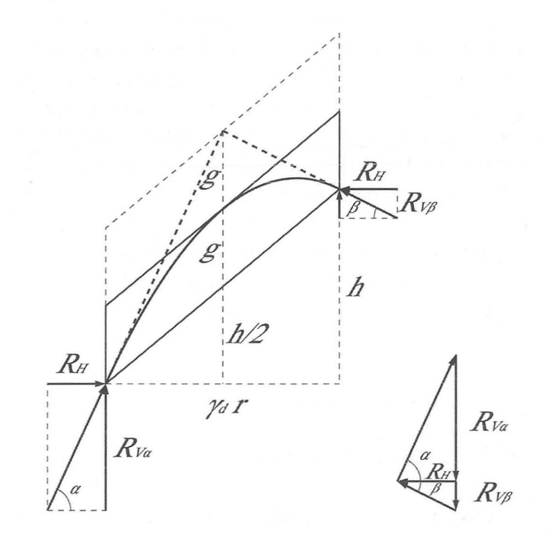


Figura 3
Corte de grosor infinitesimal desplegado. Se muestra la línea de empujes mínimo (parábola), las reacciones en los apoyos y las tangentes a la línea de empujes en los apoyos

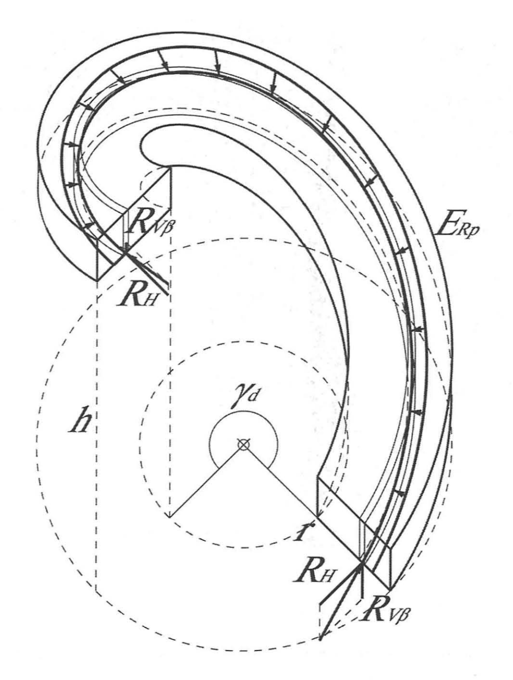


Figura 4
Corte helicoidal de grosor infinitesimal. Se muestra una solución de equilibrio con los empujes correspondientes

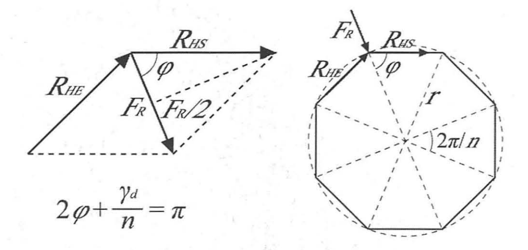


Figura 5
Planta de una escalera poligonal de n lados (en este caso $n = 8$) y esquema de las fuerzas que actúan en los vértices. Se muestra el empuje radial Fr que se origina por el cambio de dirección en la línea de empujes.

R_{HS} iguales y de valor R_H. Con el esquema de la figura 5 es fácil ver que:

$$\cos(\varphi) = \frac{F_r}{2}\frac{1}{R_H} \qquad (13)$$

Y, de este modo, la distribución de empujes (bidimensional) para el corte infinitesimal cilíndrico de la figura 5 será, teniendo en cuenta (09):

$$E_r(r) = \lim_{n\to\infty} \frac{R_H n \cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\gamma_d \pi}{2n}\right)}{\gamma_d r} = \frac{R_H}{r} = \frac{r\gamma_d^2 \rho}{8}\partial r \qquad (14)$$

Relación que ya podíamos intuir y que es análoga a la empleada para calcular la tensión de un zuncho que resista un empuje radial producido, por ejemplo, por una cúpula de revolución. Al tratarse de fuerzas horizontales hemos podido abordar el problema de un modo bidimensional. Sin embargo, para obtener la distribución de empujes que de modo radial actúa en cada uno de los puntos de la línea de empujes a lo largo del corte helicoidal, deberemos proyectar, como se verá en el siguiente apartado, el valor obtenido sobre la línea de empujes y obtener así la distribución que se muestra en la figura 4. Hemos encontrado pues una solución de equilibrio para el corte infinitesimal en la que el arranque y desembarco resistirán en exclusiva los empujes verticales. El cilindro exterior hará lo propio con los empujes horizontales radiales provocados por el cambio de dirección de la línea de empujes, necesario para transcurrir dentro de la fábrica helicoidal y no violar las hipótesis básicas del material.

Solución de equilibrio. Superficie de empujes

En el esquema de la figura 6 se han representado los cortes desplegados para $r = r_1$ y $r = r_2$ y un corte intermedio para $r = r_1 + 1/2\ (r_2 - r_1)$ con sus respectivas líneas de empujes. El paso de un corte a otro se podría obtener por medio de una transformación afín y, como expone Rankine (1858) en el Teorema de la «proyección paralela» (Huerta 2005), la nueva línea de empujes será también la transformación afín de la inicial. Esto hace que para el mismo valor del paso $\tilde{a}$ todas las líneas de empujes de cada uno de los cortes tengan el mismo valor de z y, por tanto, si unimos todos estos puntos, tendremos un segmento de recta horizontal que además corta al eje del helicoide. Serán precisamente estas trayectorias las que sigan los empujes radiales al irse transmitiendo y acumulando

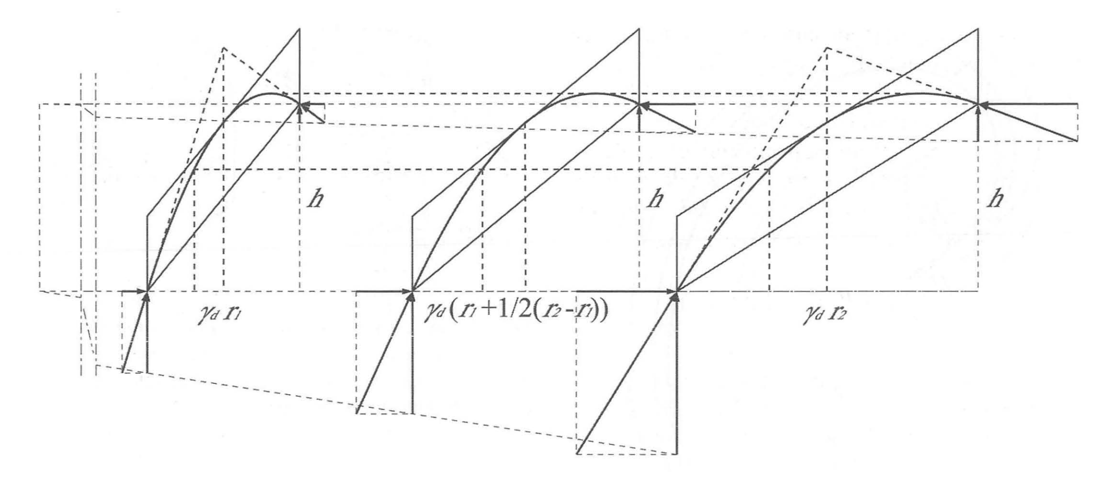


Figura 6
Cortes desplegados para $r = r_1$ y $r = r_2$ y un corte intermedio para $r = r_1 + 1/2\ (r_2 - r_1)$. Se muestran las líneas de empujes. El paso de un corte a otro es una transformación afín

de un corte al siguiente hasta llegar al cilindro exterior cuando $r = r_2$.

Visto esto es posible definir una de las infinitas superficies de empujes en equilibrio con las cargas y contenidas dentro de la fábrica que estará constituida por las infinitas líneas de empujes de cada uno de los cortes infinitesimales considerados. Podemos entonces afirmar, a la luz del teorema fundamental de la seguridad aplicado a las estructuras de fábrica, que una estructura helicoidal como la analizada es segura y no colapsará.

La superficie de empujes, que en nuestro caso es la que corresponde a un empuje horizontal mínimo en el arranque y desembarco queda definida del siguiente modo:

$$x(r,\ \gamma) = r\cos(\gamma) \qquad (15)$$

$$y(r,\ \gamma) = r\sin(\gamma) \qquad (16)$$

$$z(r,\ \gamma) = \frac{-4g}{\gamma_d^2}\gamma^2 + \frac{4g+h}{\gamma_d}\gamma \qquad (17)$$

Podremos según lo tratado en los apartados anteriores dividir los empujes totales de la estructura en dos grupos. En primer lugar, los empujes sobre el arranque y el desembarco que por las expresiones halladas (09, 10, 11) con anterioridad quedarán determinados por las siguientes distribuciones de empujes para $r_1 \leq r \leq r_2$:

Empuje horizontal en arranque y desembarco:

$$R_{H\alpha}(r) = R_{H\beta}(r) = R_{H\beta}(r) = \frac{r^2\gamma_d^2\rho}{8} \qquad (18)$$

Actúa de modo perpendicular a los radios ($\gamma = 0$ y $\gamma = \gamma_d$) y se trata de una función de segundo orden que crece a medida que nos alejamos del centro.

Empuje vertical en arranque:

$$R_{V\alpha}(r) = \frac{1}{8}r\gamma_d\rho(4g+h) \qquad (19)$$

Empuje vertical en desembarco:

$$R_{V\beta}(r) = \frac{1}{8}r\gamma_d\rho(4g-h) \qquad (20)$$

Ambos empujes verticales también crecen con r pero en este caso de modo lineal. Nótese que para una rampa de fábrica de grosor g igual a un cuarto de la altura el empuje vertical en el desembarco será nulo y sólo tendremos componente horizontal.

El cálculo del empuje radial sobre el cilindro exterior plantea una mayor complejidad matemática. Sera el resultado de la acumulación de los empujes produ-

cidos por cada una de los cortes infinitesimales que se irán transmitiendo según trayectorias radiales. Integrando la función $E_r(r)$, que obtuvimos antes (14), entre r_1 y r_2 obtendremos la distribución de estos empujes radiales pero sobre un plano horizontal. Deberemos luego proyectarla sobre la curva de contacto de la superficie de empujes con el cilindro exterior. Matemáticamente el proceso es el siguiente:

$$E_{r_1-r_2} = \int_{r_1}^{r_2} \frac{r\gamma_d^2 \rho}{8}\, \partial r = \frac{\gamma_d^2 \rho (r_1^2 - r_2^2)}{16} \qquad (21)$$

Y para proyectar $E_{r_1-r_2}$ sobre la curva de contacto, que desenrollada es una parábola, debemos multiplicarla por el coseno del ángulo que forma la recta tangente a la curva en cada punto. Siendo $f(x)$ la parábola tenemos que:

$$E(x) = E_{r_1-r_2} \cos\left(\operatorname{atan} f(x)\right) \qquad (22)$$

$$E(x) = -\frac{\gamma_d^2 \rho (r_1^2 - r_2^2)}{16} \cos\left(\operatorname{atan}\left(\frac{(4g+h)r_2\gamma_d - 8xg}{r_1^2 - \gamma_d^2}\right)\right) \qquad (23)$$

$$E(\gamma) = -\frac{\gamma_d^2 \rho (r_1^2 - r_2^2)}{16} \cos\left(\operatorname{atan}\left(\frac{(4g+h)\gamma_d - 8\gamma g}{r_2 - \gamma_d^2}\right)\right) \qquad (24)$$

Aplicación a una bóveda tabicada

Emplearemos ahora las ecuaciones obtenidas para aplicarlas al caso concreto del análisis de una rampa de fábrica tabicada similar a la de de la figura 1. Consideraremos los siguientes parámetros: $\gamma_d = \pi$, $r_1 = 1{,}5$ m, $r_2 = 2{,}5$ m, $g = 0{,}15$ m, $h = 4$, $\rho = 20.000$ N/m³, y una sobrecarga elevada de 2.000 N/m². Podemos englobar ρ y la sobrecarga en una densidad equivalente $\rho_e = 33.333$ N/m³. Entonces entrando en las ecuaciones 09, 10, 11 y 21 para r_2, que es donde el empuje será mayor, tendremos los siguientes valores del mismo:

$$R_H(r) = R_{H\beta}(r) = \frac{r^2\gamma_d^2\rho}{8} = 257 \text{ N/mm} \qquad (25)$$

$$R_{V\alpha}(r) = \frac{1}{8} r\gamma_d \rho(4g+h) = 151 \text{ N/mm} \qquad (26)$$

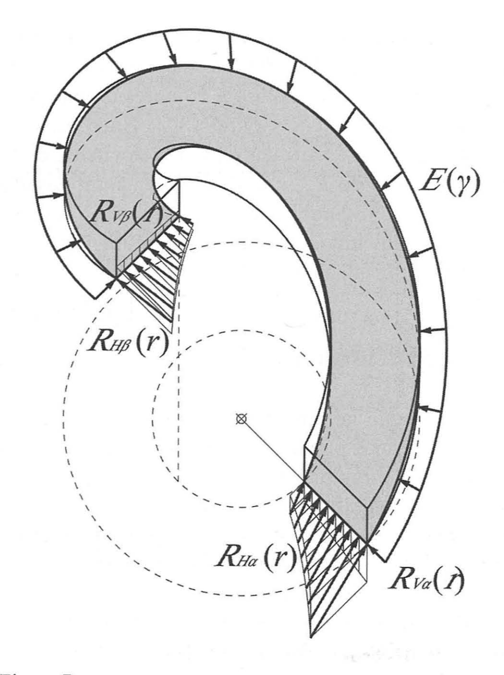


Figura 7
Solución se equilibrio de la estructura helicoidal. Se muestra la superficie de empujes dentro del grosor de la fábrica, y los empujes correspondientes

$$R_{V\beta}(r) = \frac{1}{8} r\gamma_d \rho(4g-h) = 111 \text{ N/mm} \qquad (27)$$

El valor del empuje radial que sería máximo donde la línea de empujes tenga tangente horizontal (En nuestro caso no tenemos tangente horizontal con lo que el empuje será algo menor. Considerando este valor estamos por tanto del lado de la seguridad) es:

$$E_{r_1-r_2} = -\frac{\gamma_d^2 \rho (r_1^2 - r_2^2)}{16} = 82 \text{ N/mm} \qquad (28)$$

Componiendo (25) con (26) y (25) con (27) Obtenemos unos valores de $E_{arranque} = 298$ N/mm y $E_{desembarco} = 280$ N/mm.

Considerando una sección de la fábrica de unos 130 mm para los apoyos y 150 mm para el encuentro con el cilindro perimetral, los valores resultantes de las tensiones son 2,29 N/mm² en el arranque, 2,15 N/mm² en el desembarco y 0,55 N/mm² en el encuentro con

el muro perimetral. Se trata de unos valores que, aunque alejados de los 14,6 N/mm^2 que Guastavino obtuvo como tensión de rotura a compresión en ensayos de laboratorio (Guastavino 1893; Huerta 2001), son considerables. Otro dato a tener en cuenta es el valor negativo de $R_{V\beta}$ que deberá ser compensado con alguna configuración constructiva en el descansillo del desembarco, como pudiera ser una viga o algún elemento para aportar carga.

Aplicación a escaleras ovales

El método que hemos expuesto de cortes cilíndricos concéntricos puede también aplicarse al estudio de escaleras o rampas de fábrica de planta oval. En estos casos los cilindros que limitan los cortes tendrán generatrices ovaladas, pero el procedimiento a seguir es el mismo. Una vez desenrollados los cortes podremos obtener las ecuaciones de la distribución de empujes en los apoyos, es decir en el arranque y el desembarco. El empuje sobre el muro perimetral se obtendrá, como hemos visto, por integración con la única particularidad de que para los distintos arcos del óvalo el radio a considerar será diferente.

Un caso particular de óvalo será aquel en el que alguno de los arcos tenga un radio $r = \infty$, es decir un tramo recto. En ese tramo sustituyendo el valor de r en la ecuación (14) $E_r = R_H/r$ obtendremos, como era de esperar, que no aparece ningún empuje sobre el muro perimetral. Esto nos permite analizar un número enorme de escaleras diferentes combinando tramos rectos y de distintas curvaturas.

La «forma ideal» de las escaleras de caracol de fábrica

En su *Descripción de helioscopios y otros instrumentos*, Robert Hooke (1675) publicaba un anagrama sobre «la verdadera forma Matemática y Mecánica de todo tipo de arcos en las edificaciones, y los contrafuertes necesarios para cada uno de ellos» que es el conocido: *Ut pendet continuum flexile, sic stabit contiguum rigidum inversum*, del mismo modo que cuelga el hilo flexible, así, pero invertido se sostendrá el arco rígido. La forma ideal para un arco será aquella que coincida con la línea de empujes correspondiente a las cargas que el arco va a soportar. De esta manera la línea de empujes podrá discurrir cómodamente dentro del arco y el espesor del mismo podrá será mínimo. Podemos emplear, por tanto, la ecuación de la superficie de empujes (15, 16 y 17) para el proyecto de escaleras helicoidales.

Dada una altura h a salvar por la escalera y el paso de la misma γ_d nos quedará el parámetro g para jugar y obtener superficies más o menos rebajadas según nos interese. Como vimos, si $g = 1/4\ h$, la superficie que obtenemos tiene tangente horizontal en el apoyo superior y presentará tan sólo empuje horizontal en ese punto. En el caso de que $g = 0$ la expresión (17) se convierte en (8) y tendremos la superficie helicoidal que considerábamos al principio.

Conclusiones y estudios futuros

A lo largo del artículo hemos visto cómo se puede realizar un análisis de las estructuras de fábrica con forma helicoidal desde el punto de vista del análisis límite, alcanzando una solución de equilibrio que no viola las hipótesis sobre el material. Las formulas de los empujes obtenidas en función de los parámetros geométricos que determinan la forma de la estructura, nos permiten estudiar distintos casos y, lo que es más interesante, observar en qué medida la variación de la geometría influye en el comportamiento estructural.

Se trata, como dijimos, de estructuras infinitamente resistentes para las que es imposible encontrar un mecanismo de colapso. Así, en la medida en que los apoyos resistan los empujes que les transmiten no colapsarán.

La solución de equilibrio alcanzada explica el comportamiento de las escaleras de caracol tabicadas, como pueden ser las construidas por los Guastavino. Se las considera estructuralmente como lo que son, es decir, estructuras de fábrica para las cuales lo más adecuado es afrontar su análisis desde el marco teórico del Análisis Límite.

Quedan aún muchos asuntos en los que profundizar. La solución de equilibrio obtenida considera que al cilindro perimetral sólo se le transmiten empujes horizontales radiales. Esta hipótesis es bastante conservadora y nos lleva, como hemos visto, a obtener tensiones de compresión considerables. Sin embargo, el espesor del helicoide permitiría otras trayectorias

no horizontales y tampoco radiales que supondrían unos empujes sobre el cilindro exterior con cierta componente vertical y de dirección no radial. Esto disminuiría considerablemente los empujes en el arranque y el desembarco.

La flexibilidad del método de los cortes también nos serviría para estudiar otras muchas soluciones de equilibrio. Podríamos considerar, por ejemplo, la superficie helicoidal dividida en una serie de arcos radiales que transmitirían empujes tanto al cilindro perimetral como a la franja más interior por donde se concentrarían los esfuerzos de compresión hasta los apoyos. Estaríamos considerando de esta manera la formación de una especie de nervio en el borde libre.

Se podría también estudiar las geometrías de un cierto número de escaleras construidas y ver si éstas presentan relación con sus comportamientos estructurales y las soluciones constructivas adoptadas. La construcción de modelos tridimensionales a escala, o modelos catenarios como los realizados por García y Gil (1999) puede ser también de ayuda para continuar estudiando este tipo estructural.

Agradecimientos

Agradezco a todas las personas que en mayor o menor medida me han prestado su ayuda y apoyo durante el desarrollo del presente estudio. En especial al profesor Santiago Huerta quién me transmitió el interés por la Historia de la Construcción, las estructuras antiguas y el cálculo de las estructuras de fábrica. Fue él quien nos planteó el tema de las escaleras de caracol con óculo central y en varias ocasiones hemos hablado sobre este asunto. También me ha facilitado el desarrollo de este artículo desde Londres proporcionándome el acceso a la bibliografía que he podido necesitar.

Lista de referencias

Calladine, Christopher R. 2005. Preliminary structural analysis of a Guastavino spiral staircase shell. *Essays in the history of the theory of structures. In honour of Jacques Heyman*, editado por S. Huerta, 79–102. Madrid.

García Ares, José Antonio y Gil Crespo, Ignacio Javier. 1999. *Estabilidad de las escaleras de óculo central o de Mallorca*. Trabajo académico, inédito, Historia de la Construcción I ETSAM. Madrid.

Guastavino Moreno, Rafael. 1893. *Essay on the Theory and History of Cohesive construction, applied especially to the timbrel vault*. Boston: Ticknor and Company. (1 edición 1892).

Heyman, Jacques. 1995. The mechanics of masonry stairs. *Structural Studies, Repairs and Maintenance of Historical Buildings IV. Vol 2: Dynamics, Repairs and Restoration*, editado por C. A. Brebbia y B. Lefteris. Southampton.

Heyman, Jacques. 1998. Hooke's Cubico-Parabolical conoid. *Notes and Records of the Royal Society of London. Vol.* 52, 39–50.

Heyman, Jacques. 1999. *El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera/ CEHOPU. (Traducción del la ed. inglesa: 1995. *The Stone Skeleton. Structural Engineering of Masonry Architecture*. Cambridge: Cambridge University Press.

Hooke, Robert. 1675. *A description of helioscopes, and some other instruments*. Londres.

Huerta, Santiago. 2001. La mecánica de las bóvedas tabicadas en su contexto histórico: la aportación de los Guastavino. En *Las bóvedas de Guastavino en América,* editado por Santiago Huerta. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Huerta, Santiago. 2004. *Arcos bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Palladio, Andrea. 1570. *Quattro Libri dell'Architettura. Venecia.*

Price, Sam y Rogers, Helen. 2005. Stone cantilevered staircases. *The Structural Engineer. Vol.* 83/2, 29–36.

Rankine, W. J. M. 1858. *A Manual of Applied Mechanics*. London.

Taylor, Russell. 1990. Revealing masons' mystery. *Architects' Journal*. 192: 34–43.

La *Arquitectura* de Parellada

Andrés García Bodega
Fernando da Casa Martín

Antonio Parellada y García, profesor de la Academia de Ingenieros Militares de Guadalajara, recogía en su *Arquitectura* los cambios que se estaban produciendo en el inicio del siglo XX, cambios que planteaban nuevos problemas tecnológicos, tipológicos, así como estéticos y compositivos. Elegida en un concurso y distinguida con una condecoración, la obra se declaraba texto reglamentario para la Academia de Ingenieros, por R. O. de 4 de marzo de 1920, aunque ya se había publicado en 1918 la primera edición. El texto de Parellada se publicó en tres volúmenes correspondientes a las tres partes en que se dividía el contenido teórico de la misma: la primera dedicada a las instalaciones, la segunda a la estética y composición de edificios, además del urbanismo, y la tercera a los programas y los tipos de edificios; la publicación incluía también tres carpetas de láminas que ilustraban los desarrollos teóricos de cada una de las partes.

Parellada escribió su tratado cuando todavía era vigente el pensamiento historicista del siglo anterior y la mayor parte de los proyectos de la época podían incluirse dentro de la denominada arquitectura tradicional (Hitchcock 1993, 563).

Para él la arquitectura, dentro de las artes plásticas, ocupaba un lugar preeminente, y las obras así consideradas debían responder a las leyes y principios inmutables que constituían la teoría estética propia de esa forma de expresión.

Su concepción de la Estética, según la definición que aparece en su texto, como Ciencia filosófica del Arte, como teoría de la sensibilidad, «que trata de explicar cómo y por qué la Belleza existe, se manifiesta y se hace ostensible en la Naturaleza y en las obras artísticas» (Parellada 1926, 2: 5) pone de manifiesto cierta influencia del idealismo alemán, incluso puede conectarse con la filosofía trascendental de Schelling que «explica las realidades del objeto y la naturaleza a partir, respectivamente, del sujeto y del espíritu» (Hirschberger 1982, 2: 240).

Sin abdicar del racionalismo característico de los ingenieros militares, se percibe en su obra, la influencia de la arquitectura moralizada de finales del XIX. Desde el principio plantea la necesidad de considerar, en cualquier construcción, el carácter representativo de la arquitectura, sostiene que a los criterios funcionales, siempre presentes, se debe imponer el valor simbólico de toda construcción. La expresión de la idea que recoge la utilidad moral y material es, desde la concepción del proyecto, la esencia misma de la arquitectura. La satisfacción de las necesidades, objetivo al que no renunciaba, quedaba subordinado a la función significativa: «ni una choza, ni una gruta, ni una caverna es una obra artística; es solamente una construcción que responde a la necesidad material que siente el hombre rudimentario de procurarse una morada. La Arquitectura va más allá. Un dolmen, un obelisco, una sencilla piedra, que encarne una idea nacida de un sentimiento religioso o patriótico, es una obra puramente simbólica, pero obra de arte. Y cuando la civilización avanza en su camino y a su Dios o Divinidad le consagra un tem-

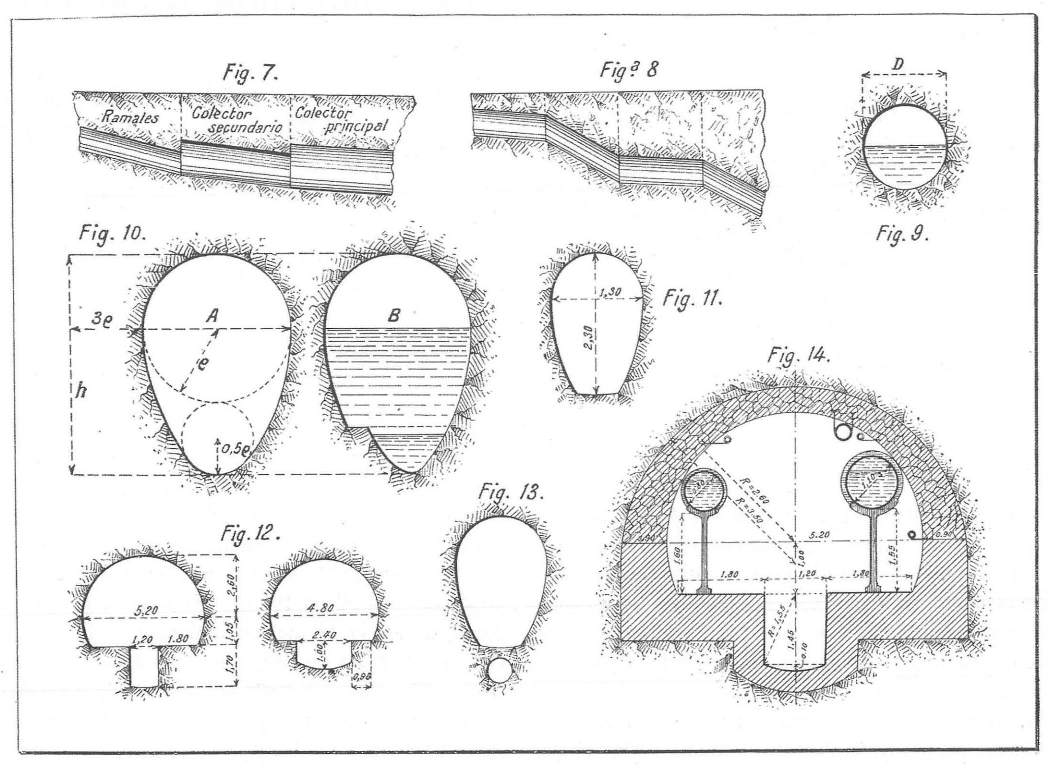


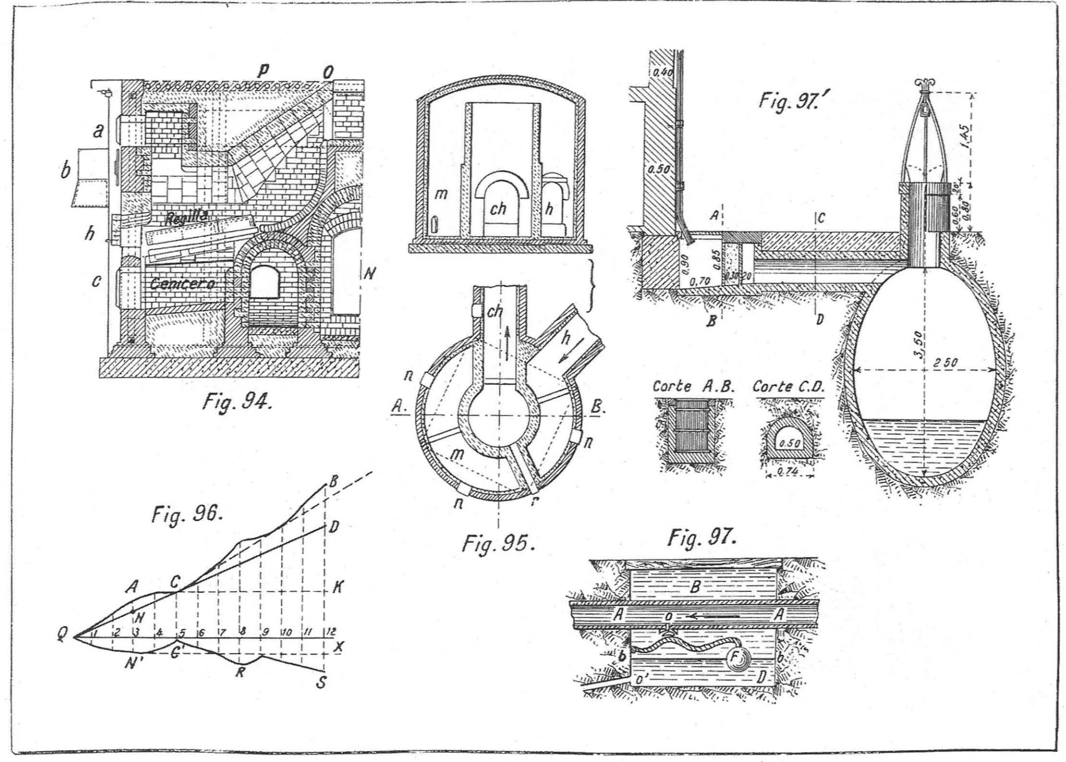
Figura 1

plo, una mezquita, una basílica o una catedral, aparece la más genuina manifestación del arte de cada época y de cada pueblo: la edificación que además de prestar una utilidad moral y material, es la franca expresión de una idea, de una religión, del estado social de un pueblo, de sus creencias y costumbres» (Parellada 1926, 2: 6). De nuevo este pensamiento remite a la Filosofía del Arte de Schelling donde «el secreto de la belleza está en que lo infinito desciende a encarnarse visiblemente en lo finito y en que lo finito se torna símbolo de lo infinito» (Hirschberger 1982, 2: 241).

De acuerdo con su visión de la arquitectura: materia conformada para ser útil y satisfacer determinadas necesidades, pero materia que en su expresión formal debe remitir al mundo de las ideas, Parellada estableció un paralelismo entre la arquitectura y el ser humano, ambos dotados de cuerpo y alma. Visión platónica, a la que, como una consecuencia lógica, sumó las posibilidades que la contemplación de la vida orgánica seguía ofreciendo en el desarrollo de las teorías arquitectónicas.

La «analogía biológica», desde mediados del siglo XVIII, había permitido proponer un modelo para explicar el modo de crecimiento de las formas, las relaciones entre las partes, y de las partes con el todo. El cuerpo humano era el «modelo de organización orgánica» (Patetta 1997, 320). Y así lo vuelve a proponer Parellada, porque el hombre: «nos ofrece la más fiel imagen de la Belleza. En él hay vida y expresión; proporciones y armonía; orden, por lo tanto; unidad en el conjunto de un solo Ser, formado de variadísimos elementos, de miembros dobles, sencillos, simétricamente colocados de derecha a izquierda, todos

Lámina 21.ª



1.ª Parte

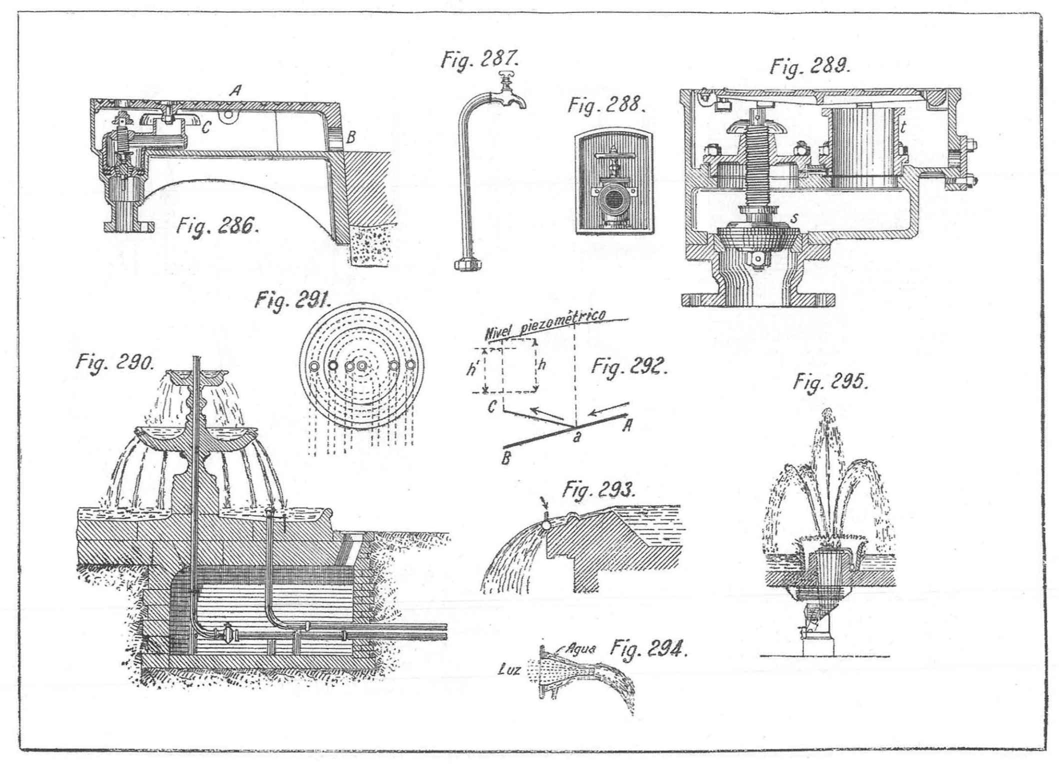
Figura 2

diferentes de arriba abajo y todos necesarios» (Parellada 1926, 2: 8)

La arquitectura es por tanto, para él, una creación del hombre a su imagen y semejanza, con el carácter de su espíritu que es la lógica, y el carácter de su cuerpo que es la proporción. Obra de arte que además debe integrar en su belleza la propia funcionalidad. Así las cualidades esenciales que determinan la belleza arquitectónica, según Parellada son: «utilidad», o condición de satisfacer una necesidad moral o material, social o del individuo; «conveniencia», adecuación del edificio, en su conjunto y en sus partes, al destino para el que fue concebido; «solidez», posibilidad de existencia y duración, y «vitalidad», alma que eleva la materia y revela su existencia moral. Cualidades que en la arquitectura, como en el hombre, aparecen en plenitud cuando se cumplen las leyes que emanan de la propia Naturaleza: «la proporción», relación constante entre las partes, y de las partes con el todo que constituyen; «la armonía», combinación adecuada de esas partes para formar el conjunto; «el orden», manifestación de las partes en su proporción y armonía, y «la unidad», percepción de todas las partes como una sola, con un solo aspecto, con un único carácter.

La influencia del arquitecto francés Cloquet, ingeniero honorario de Ponts et Chaussées, y profesor de la Universidad de Gand, es evidente en Parellada, a la definición «nous dirons donc: L´Achitecture est l´art de donner aux édifices la convenance, la solidité et l´expression» (Cloquet 1911, 28), corresponde «el arte de dar a los edificios la utilidad, solidez y carácter apropiado a su destino» (Parellada 1926, 2: 7), con los significados ya expuestos.

Lámina 51.ª



1.ª Parte

Figura 3

Cloquet, en sus principios de estética arquitectónica, considera la belleza como una cualidad propia de la obra de arquitectura, que debe responder, simultáneamente, al concepto de belleza de Platón, «esplendor de la verdad», de San Agustín, «resplandor de la bondad» y de Winckelmam «conveniencia de las partes con el todo, y del todo con su destino», y que se manifiesta en «l´harmonie, l´ordre, l´unité, l´variété». En la Arquitectura de Parellada la belleza ideal supone la existencia de la bondad y de la verdad, y los «caracteres fundamentales» que la ponen de manifiesto son «la proporción, la armonía, el orden, y la unidad».

De acuerdo con tales teorías, Parellada, mantenía «que la belleza es incompatible con la *mentira arquitectónica*, con la estructura fingida que oculta la idea verdadera en lugar de expresarla» (Parellada 1926, 2: 11).

En su demanda de claridad para el mensaje de la arquitectura, condenaba todo enmascaramiento de los procesos constructivos, la ocultación o la simulación de los sistemas estructurales, y el velado de los materiales para imitar otros considerados más nobles. Esa postura, aunque coincidente con la visión romántica de los historicismos medievales, (John Ruskin hacía una cierta clasificación de las mentiras arquitectónicas: «1ª La sugestión de una infraestructura o sostén distinto del verdadero, como los pendículos de las bóvedas de estilo gótico terciario. 2ª La pintura de las superficies con objeto de fingir otros materiales que aquellos de que están formadas realmente (como el pintar de mármol las maderas) o la representación falsa de adornos esculpidos sobre estas superficies. 3ª El empleo de adornos modelados o hechos a máquina» (Ruskin 1989, 47), en Parellada

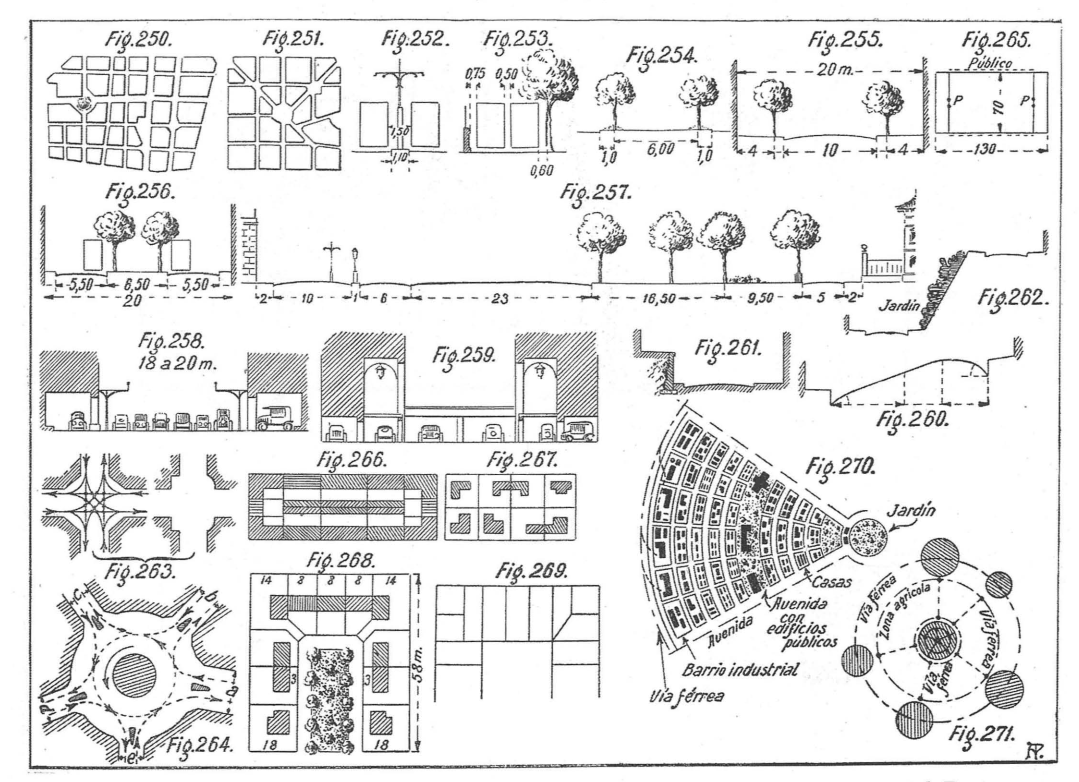


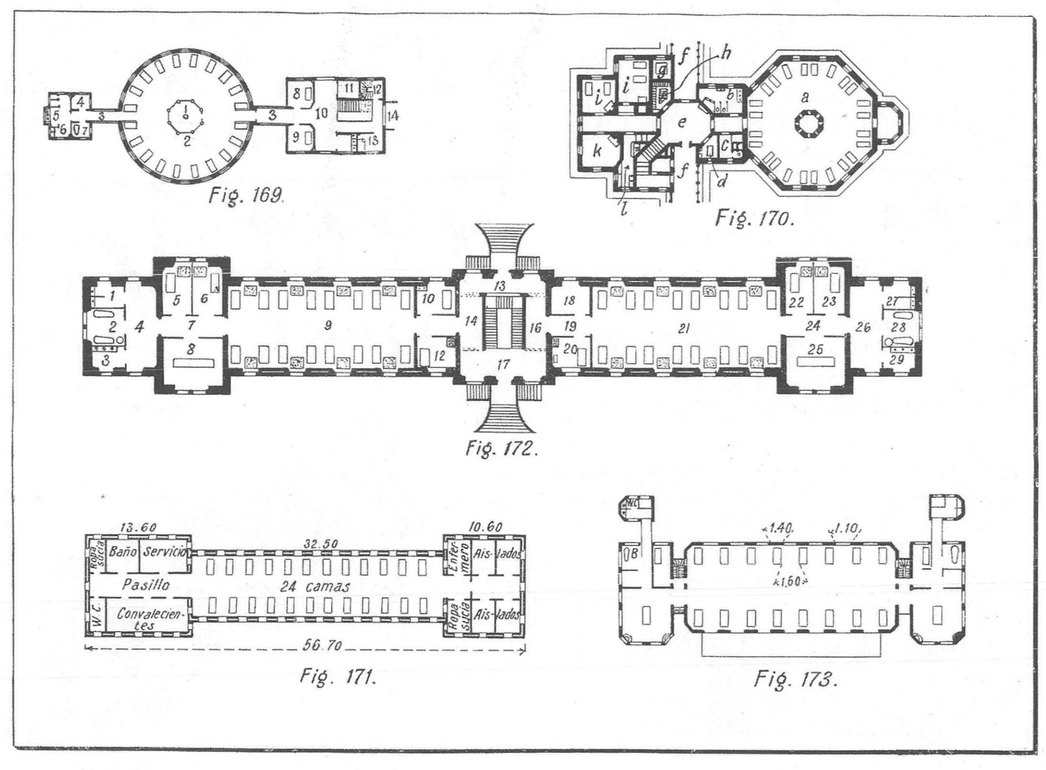
Figura 4

suponía, además de un determinado planteamiento ideológico, una valoración de los propios materiales y los procesos constructivos, susceptibles de alcanzar idéntica calidad plástica con el tratamiento adecuado. El ingeniero no era ajeno al desarrollo tecnológico que se estaba produciendo, y en consecuencia proponía aprovechar las cualidades de cada material con sistemas constructivos y soluciones arquitectónicas especificas, y nunca trasladando procedimientos inadecuados a las propiedades de un determinado material o imitando formas inapropiadas.

Partidario del historicismo como fuente de formación e información «el gusto artístico se adquiere, se educa, y se encauza por el estudio de las obras que otras hicieron, no para copiar servilmente cuando mejor se acomode, sino para indagar las razones que las motivaron, inspirándose en ellas para modificarlas con arreglo a los medios de realización disponibles, a las condiciones especiales de época y lugar» (Parellada 1926, 2: 29), condena abiertamente el eclecticismo como síntesis «la composición, pues, no envuelve la idea de coger fragmentos de aquí y de allá, de uno y otro estilo, de esta o de aquella época, par zurcirlos a capricho, con mayor o menor acierto, sin razón que justifique la elección de una forma o motivo que entusiasma, y sin más objeto que el de levantar una construcción con pujos de originalidad» (Parellada 1926, 2: 29).

En el proceso de composición distingue fases que denomina medios propios de la arquitectura para hacer ostensible la belleza, estableciendo así su método de diseño. Distribución, disposición, construcción y decoración, son las etapas sucesivas en la elaboración del proyecto: La distribución hace referencia a

Lámina 44.ª



3.ª Parte

Figura 5

la división en locales, a la relación de cada uno de ellos con los demás, a su situación de acuerdo con las condiciones del entorno, ajustándose, en todo momento, a un programa de necesidades previamente establecido. La disposición atiende, principalmente, los aspectos formales y espaciales, y las relaciones de proporcionalidad. La construcción se ocupa del acertado empleo de los materiales que el suelo y la industria proporcionan, y por último la decoración como adecuada combinación de líneas, superficies y masas, de acuerdo con las leyes de la proporción y la armonía. Como medio auxiliar o complementario de la decoración, Parellada, diferencia el ornato, tratamiento aplicado, o motivo sobrepuesto, que debe utilizarse «con prudencia, gusto y recto sentimiento de lo bello, no olvidando nunca que la decoración sobrepuesta debe ser consecuencia inmediata de la decoración arquitectónica; que debe adaptarse a las especiales circunstancias de estilo, época y lugar, y que el arquitecto no puede componer por una parte lo que después ha de vestirse con entera independencia artística por el artífice, llámese pintor escultor o decorador» (Parellada 1926, 2: 40).

En la exposición teórica de su método, Parellada, continúa con el análisis de las partes elementales de la edificación, el estudio del edificio en su conjunto y la consideración del edificio agrupado con otros. En las partes elementales de la edificación incluye, en primer lugar, los elementos constructivos que divide en partes sustentantes (muros o apoyos continuos, y apoyos aislados), elementos sostenidos (suelos, bóvedas y cubiertas) y las partes accesorias de la construcción, un amplio apartado que agrupa tabiquería, pavimentos, carpintería, galerías, pórticos y porches.

En segundo lugar, dentro de las partes elementales de la edificación, incluye los elementos de la distribución, diferentes locales que pueden constituir un edificio. Aquí remite al estudio de los programas de necesidades y de los diferentes tipos de edificios, aunque analiza los más comunes a la mayor parte de las edificaciones distinguiendo entre partes cubiertas (vestíbulos, antecámaras, corredores y pasillos, salas cocinas y retretes), y partes descubiertas (patios, terrazas, parques y jardines, estanques, fuentes, lagos y cascadas). En el apartado dedicado al estudio del edificio en su conjunto el punto de partida es la necesidad de ajustarse al programa de necesidades, ya que no es posible establecer leyes referentes a configuraciones formales prescindiendo del destino del edificio. «Un edificio, sea cualquiera su destino, no puede ser considerado como una serie de motivos y elementos arquitectónicos o decorativos zurcidos a capricho, sino como un ser orgánico, cuya forma general o de conveniencia debe derivarse del objeto de la obra y del atento estudio de su programa de necesidades» (Parellada 1926, 2: 107).

Concluye el capítulo con el estudio del edificio agrupado con otros, donde analiza la dimensión urbana de la edificación, aunque parte de ciertas premisas de carácter higienico-sanitario tratadas en la Ingeniería Sanitaria «las vías públicas de las poblaciones han de satisfacer, ante todo, a las exigencias de la circulación, a las de la higiene y construcción, y aciertas condiciones estéticas que también se armonizan con las que son puramente utilitarias» (Parellada 1926,2: 110). Define la manzana como grupo de casas o edificios aislados limitados por calles, y después de estudiar el trazado de las calles y su orientación hace una serie de propuestas en relación con las exigencias estéticas de los trazados.

Son especialmente interesantes las reflexiones que incluye su análisis de los ensanches y reformas interiores de las poblaciones «al proyectar el trazado de las nuevas barriadas, conviene reservar algunos solares especiales para el asentamiento de ciertos edificios de servicio público, como son, por ejemplo, los palacios de Justicia, casas de Correos, museos, iglesias, etc., etc. Se consideran estas obras como centros de perspectiva en el trazado de las vías, y se reservan sus solares en su parte cóncava de las más anchas, o en el contorno de las plazas públicas monumentales. La conservación y respeto a las particularidades locales, como bellos paisajes, monumentos nacionales y obras artísticas conmemorativas o simbólicas, debe ser la condición esencial que ha de cumplirse al acometer la creación de nuevas barriadas o la transformación de las antiguas. Independientemente de la creación de plazas, parques y jardines destinados al solaz y esparcimiento de los habitantes, deben multiplicarse cuanto sea posible los espacios libres de edificación en el interior de los solares, con el fin de destinarlos a constituir depósitos de aire y de luz independientes para cada vivienda o manzana de casas».

Inicia la tercera parte de su obra con una reflexión acerca de las exigencias de la vida moderna, de los progresos de la civilización, y de los cambios operados en la sociedad, para deducir, en consecuencia, los retos que tales hechos plantean a la arquitectura: «las casas particulares, asentadas en el campo o en las poblaciones, son el vivo reflejo de la opulencia o pobreza de sus habitantes, y responden, por lo tanto, a necesidades diferentes; los principios en que se basa actualmente el servicio público y privado de hospitalización exigen hospitales y sanatorios especializados para el tratamiento de las diversas enfermedades; la existencia de los Ejércitos permanentes impone la construcción de cuarteles varios para las Armas y Cuerpos que constituyen las guarniciones de las Plazas; la Industria requiere fábricas, talleres, almacenes y depósitos para sus productos; la cultura e instrucción pública reclaman la existencia de edificios escolares, museos y bibliotecas; grandes y lujosos hoteles constituyen el alojamiento de la población flotante de las ciudades; los palacios de Ayuntamiento, Diputaciones, Gobiernos civiles, Audiencias y Parlamentos facilitan el servicio de la Administración; las cárceles y prisiones responden a nuevo régimen penitenciario, y son indispensables para castigar las faltas y delitos cometidos por los individuos de la Sociedad; los bancos de crédito y las bolsas del Comercio son necesarias para la vida de los negocios; los servicios de comunicaciones están centralizados en monumentales casas de Correos y Telégrafos; en los circos y teatros se celebran los espectáculos públicos; suntuosas iglesias y catedrales están consagradas al culto religioso; los grandes mercados mataderos, baños y lavaderos contribuyen a la mayor salubridad e higiene de las aglomeraciones urbanas; y, en fin, hasta en la última morada, en los cementerios, se encuentran lujosas tumbas y soberbios panteones» (Parellada 1926, 3: 7).

Es especialmente interesante el estudio tipológico que realiza de los cuarteles permanentes. Después de un recorrido histórico para determinar la función de las tropas, en tiempos de guerra y en tiempos de paz, y cual era el sistema utilizado para su alojamiento, considera que «no sólo los cuarteles, sino todos los demás edificios militares son de creación relativamente moderna porque responden a las exigencias impuestas por la organización de los ejércitos permanentes» (Parellada 1926, 3: 25).

Dentro de la revisión histórica, incluye la crítica de las reformas de los acuartelamientos franceses, ingleses y españoles. En Francia Vauban, ingeniero y mariscal de Luis XIV, a finales del siglo XVII, proyecta los cuarteles de acuerdo con las necesidades que plantean las épocas de paz, soluciones que, a mediados del XVIII, modificaría Belidor, ingeniero también, de la escuela de fortificación de Mezières, sin que aquellas, ni las posteriores, mejorasen demasiado las malas condiciones higiénicas de aquellos establecimientos.

En Inglaterra, donde los cuarteles «dejaban mucho que desear» hasta la segunda mitad del siglo XIX, «el ministro de la Guerra, Lord Panmure, nombró en 1857 (una) Comisión presidida por el secretario del ministerio, Sidney Herbert, de la que formaban parte dos eminentes doctores en Medicina y el Capitan de Ingenieros Douglas Galtón, que fue el principal iniciador de los cuarteles higiénicos. La citada Comisión fue encargada de estudiar las mejoras y modificaciones que la ciencia aconsejaba introducir en los cuarteles y en los hospitales militares, sujetándose para su estudio a las detalladas instrucciones que fueron dictadas por el ministro de la Guerra. Después de visitar un gran número de cuarteles y hospitales, la referida Comisión redactó dos notabilísimas memorias, que constituyen uno de los trabajos más importantes de Ingeniería Sanitaria publicados en el siglo pasado» (Parellada 1926, 3: 29).

Según Parellada los acuartelamientos en España durante el siglo XVII, y en los comienzos del XVIII, eran deficientes alojamientos en fortalezas y antiguos conventos, incluso se alquilaron casas para convertirlas en cuarteles. Las ideas de Vauban y Belidor estuvieron presentes en las intervenciones de aquellos momentos con los graves inconvenientes ya mencionados. Hasta la aprobación, por Reales órdenes de 31 de julio y 17 de diciembre de 1890, de la obra «cuarteles tipo», redactada por una Comisión integrada por el coronel Francisco Roldán, y los tenientes Luis Andrade, José Hernández y Francisco Cano, no hubo una referencia completa y cualificada para acometer esas construcciones, aunque existían numerosos estudios parciales relacionados con la higiene y los cuarteles, realizadas por ingenieros españoles; algunas de ellas aparecen publicadas en el Memorial de Ingenieros.

Otro capítulo interesante en esta parte de su obra, es el dedicado a los hospitales permanentes. En el desarrollo del espacio arquitectónico dedicado a los enfermos, desde el siglo XVIII, han sido fundamentales las aportaciones de los ingenieros militares, «es un hecho incuestionable que la sanidad española ilustrada fue en buena parte, y sobre todo en sus novedades, un capítulo de la administración del ejército o en otros términos en la Secretaría de Guerra; no ha de extrañarnos, pues, que las construcciones hospitalarias militares, del Ejército y Armada, constituyan modelo a imitar por los restantes centros asistenciales españoles subsidiarios todavía de una organización y unos planteamientos heredados del barroco. Los primeros hospitales modernos en la España borbónica son hospitales militares que disponen de una infraestructura económica, unas dotaciones de personas, materiales, medicamentos, instrumental, etc., que no disponen otros centros hospitalarios continuadores de una actitud caritativa y benéfica» (Sambricio 1986, 68). El estudio de este tipo de edificios, por parte de los ingenieros militares, continuó durante el siglo XIX, Leopoldo Scheidnagel, en un extenso artículo «Consideraciones sobre la construcción de hospitales militares» publicado en el *Memorial de Ingenieros*, el año 1859, elaboraba casi un tratado sobre el tema.

En la obra de Antonio Parellada el hospital se concibe como la «casa higiénica por excelencia», que sustituye a la propia, no apta para dispensar los cuidados que requiere el enfermo. En el hospital todo se orienta a la curación para devolverlo al individuo restablecido a la sociedad.

Después de una reseña histórica, y de una clasificación de los hospitales, hace un extenso estudio funcional que comienza con la elección del terreno más adecuado para su ubicación, «la superficie que debe ocupar un edificio hospitalario ha de calcularse siempre con la amplitud suficiente para que la iluminación y soleamiento de los pabellones sean abundantes, para que la circulación del aire se verifique sin dificultad, y para que se disponga de espacios libres

de edificaciones destinados a jardines, que, además de formar en parte una zona de aislamiento del hospital, constituyan también una zona alegre y salubre alrededor de los edificios» (Parellada 1926, 3: 171), continua analizando una serie de índices: camas por cada mil habitantes, metros cuadrados por cama, número máximo de camas, superficie y capacidad por enfermo, para concluir con los programas de necesidades según las diferentes clases de hospitales, y la distribución de los elementos de acuerdo a los principios organizativos más convenientes.

La primera parte de la *Arquitectura* de Parellada está dedicada a la Ingeniería Sanitaria. En el prólogo de la primera edición, de 1918, la exposición de los motivos que le impulsaron a escribir la obra permite comprender el por qué de su organización, y la desigual extensión, con que trata cada una de las tres partes en que se divide: «ante las dificultades con que he tropezado para explicar provechosamente la asignatura de Ingeniería Sanitaria, sin contar para ello con ningún libro de texto que, además de ser didáctico, satisficiese, siquiera deficientemente, a las exigencias del programa oficial de nuestra Academia, no he dudado en emprender este trabajo, que desde luego estimo muy superior a mis propias fuerzas» (Parellada 1926, 3: I).

El texto de Parellada surgió, por tanto, como un manual de Ingeniería Sanitaria en el que se incluyeron, un tratado de Estética y composición arquitectónicas, y otro dedicado a los programas y tipos de edificios.

La singularidad con que fue estructurada la obra vuelve a ponerse de manifiesto al iniciar la lectura de la primera parte. En un capítulo preliminar, Antonio Parellada, trata de relacionar la arquitectura, con la importancia de la ciencia sanitaria, y para ello no duda en afirmar que la belleza aparece cuando la obra arquitectónica va acompañada de ciertas cualidades que la construcción requiere, entre ellas las condiciones higiénicas.

Después de los preliminares referidos, la primera parte de la *Arquitectura* se vuelve a dividir en: Higiene y salubridad públicas, e Higiene y salubridad de la vivienda. En el desarrollo de los temas tratados, en ambos apartados, queda, por otra parte, perfectamente clara la razón principal que presidía la evolución de la ciencia sanitaria. Incluso se dedican unas páginas al estudio de las enfermedades endémicas y epidémicas.

Lista de referencias

Cloquet L. 1911. *Traité D'Architecture*. Universidad de Gand.

Hirschberger J. 1982. *Historia de la Filosofía*. Herder.

Hitchcock H. 1993. *Arquitectura de los siglos XIX y XX*. Cátedra.

Parellada y García A. 1926. *Arquitectura.*

Ruskin J. 1989. *Las siete lámparas de la Arquitectura*. Murcia: COAAT.

Sambricio C. 1986. *La arquitectura española de la Ilustración*. CSCE, IEAL.

Sistemas de fundación y contención en las construcciones palatinas de Roma

Ignacio García Casas

La concentración de edificaciones levantadas en el Foro de Roma propició la necesidad de ganar terreno a las colinas que lo circundaban, de ampliar el plano de coronación de éstas e incluso de superponer en altura los palacios sobre las vías de la trama urbana.

El título que precede nos refiere a la ejecución de estructuras de arranque con funciones simultáneas de elevación de edificaciones y contención del terreno en las construcciones levantadas durante el imperio Romano y fundamentalmente en el Foro Romano. El término más habitualmente utilizado por los autores italianos para referirse a esta parte de la estructura es el de «sostruzione» reconociéndola así un carácter no solo tectónico sino su capacidad espacial para acoger determinados usos autónomos o subordinados al edificio bajo el que se ubican, por lo que cabría traducirlo por «subterráneo».1 Sin embargo lo que dota a estas construcciones de unas características propias no son los usos a que pudieran destinarse los espacios conformados interiormente bajo la cota considerada de arranque de la edificación principal ya que su generación no son es fin en si mismo sino la consecuencia de la adopción de un sistema estructural con otro cometido. Lo novedoso de esta construcción romana es la solución estructural adoptada para escalonar edificaciones en la ladera de una colina o elevarlas hasta su coronación. Si se adoptara el término «cimentación» para referirse a ellas se asociaría dicha acepción a aquella parte de la estructura enterrada y sin posibilidad de conformar espacios interiores. Resulta más apropiado acudir al término «fundación» o «fundamento» unido al de «contención» al soportar, además, los empujes del terreno al que la construcción se adosa (RAE 1970).[2]

Sistemas simples de fundación y contención

La construcción de foros y mercados se desarrolló en las laderas de las colinas mediante la ejecución de plataformas escalonadas y adosadas al escarpado terreno. Las plataformas debían acoger las tiendas, denominadas «botigae», alineadas y abiertas hacia una vía de circulación. El sucesivo escalonamiento de vías y tiendas escalando la pendiente del terreno requería la ejecución de sistemas de contención de tierras que, al mismo tiempo, sirvieran para albergar las tiendas y soportar la vía superior.

Se desarrolló para ello un sistema de muros y bóvedas que permitía el aprovechamiento del espacio interior para acoger las tiendas abiertas a la vía urbana que transcurría por cada plataforma. El plano del muro de contención estaba compuesto por una hilera de exedras que contenía el empuje del terreno. El extradós de estas bóvedas verticales transmitía el empuje por sus estribos a los muros contrafuertes transversales. El espacio entre contrafuertes se cubría con una bóveda de medio cañón que no solo los arriostraba en coronación sino que los lastraba al transmitirles las cargas y sobrecargas gravitatorias de las construcciones de su plano superior. De este modo la carga resultante del empuje activo del terreno y del

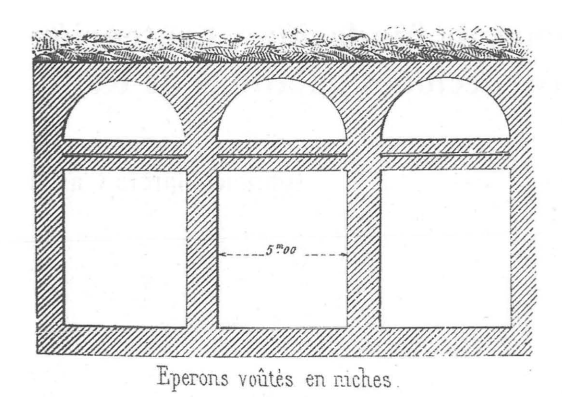


Figura 1
Planta de un sistema de contención por muros contrafuertes (Leger 1875, lám. 2)

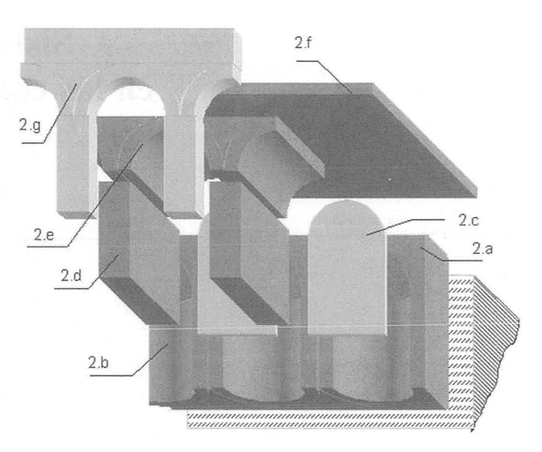


Figura 2
Contención mediante muros contrafuertes en «opus latericium»
a. Muro de contención
b. Hornacina con función de cámara de drenaje
c. Cerramiento de la cámara de drenaje
d. Muro contrafuerte
e. Bóveda de cañón sobre muros
f. Plataforma sustentante superior
g. Cerramiento mediante muro-arquería de cantería

peso de las bóvedas de cubrición se desviaba hacia la base del muro contrafuerte. Por encima de las bóvedas se nivelaba un plano horizontal para nuevas hileras de construcciones escalonadas. Se conformaba de este modo una sucesión de habitáculos abiertos a una vía o ágora.

Foro de Cesar (54–46 a.C.)

El conjunto constituía un complejo de edificios, tiendas y paseos porticados en torno a una plaza central de planta rectangular. En el lado suroeste la extensión del Foro estaba condicionada por la elevación del terreno hacia el monte Capitolino. Para enmarcar la planta de la plaza central en el perfil del terreno, se regulariza el lado suroeste mediante una construcción de muros constrafuertes y bóvedas de cañón de diferente profundidad.

La construcción perimetral se resuelve mediante una modulación de huecos adaptada a distintas soluciones de distribución de espacios en altura. Constituye una solución innovadora no por el sistema de contención del terreno sino por la estandarización de los elementos de fachada de trazas similares a las empleadas en los acueductos de doble arquería.

En las ruinas conservadas se observa la persistencia de una planta cubierta por bóvedas de cañón al nivel de la plaza del Foro y una segunda planta elevada sobre la anterior y cubierta con otra bóveda de cañón. Sin embargo, según cuenta Luigi, no todo el conjunto de construcciones se resuelve de igual forma:

En origen las estancias que circundaban la plaza estaban divididas en tres plantas con forjado de madera y, debido a su limitada altura, las dos plantas inferiores estaban enmarcadas por anchos arcos adintelados de toba con claves en travertino mientras que el tercer piso estaba cubierto con arco, cerrando, con acertado ritmo, toda la fachada (Luigi 1957, tav. 86).

Divo Claudio (59 d.C.)

Las construcciones de contención en el monte Celio fueron levantadas para perfilar una plataforma rectangular sobre la que se situó el templo del «Divo Claudio» (Rivoira 1921, 86). En este conjunto edificado en honor del emperador Claudio la composición de muros y bóvedas de fundación y contención tienen un marcado carácter monumental sin más función que la estructural.



Figura 3
Ruinas del lado suroeste del Foro de Cesar

Figura 4
Planta y alzado de las ruinas de las «taberne» (tiendas) del Foro de Cesar (Amici 1991, 58)



Figura 5
Ruinas de una de las exedras en las «sostruzioni» del «Divo Claudio»

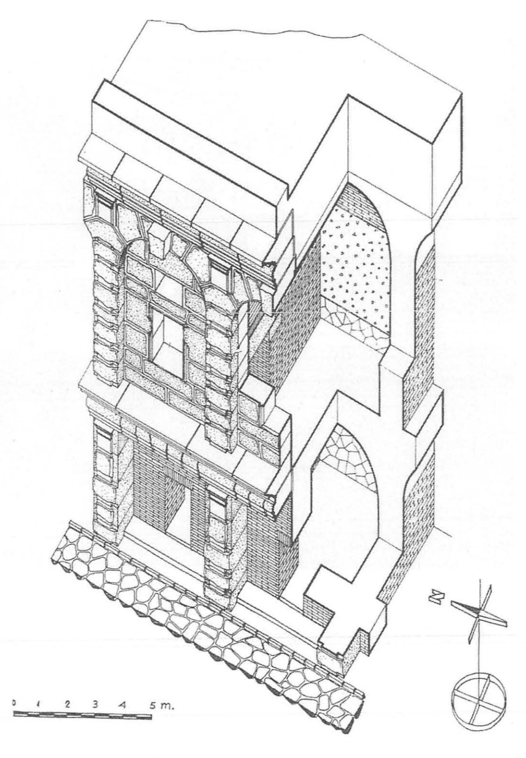


Figura 6
Axonometría de las arquerías perimetrales del «Divo Claudio» (Macdonald 1965, fig. 20)

En las ruinas que aún permanecen de su lado Este se puede observar cómo el muro de contención se componía de una exedra alternada con series de cinco contrafuertes. En el lado Oeste, próximo a la iglesia de San Paolo y San Giovanni, se conservan restos de la fachada de la plataforma ejecutada en sillería de travertino y doble arquería de arcos rústicos. La fábrica de ladrilo es posterior a la construcción original.

Mercados de Trajano (81–117 d.C.)

Este conjunto edificado se sitúa entre el monte Quirinal y el Capitolino en el lugar donde existía un cerro escarpado que impedía la ampliación del Foro. Domiciano (a. 81–96) inicia los trabajos para romper este cerro y ampliar el Foro. En el zócalo de la columna trajana aparece reflejado este hecho. Trajano (98–117) impulsa la obra con el arquitecto Apolodoro de Damasco.

La idea de un gran ágora comercial del tipo de los de las ciudades del Asia Menor parece extraño entonces a los proyectistas de la urbe ya que las plazas públicas, los foros se dedicaban a celebraciones o sacralizaciones (Gros, y Torelli 1998, 194–198).

Los edificios escalonados en la ladera del Quirinal se destinan a mercados conformando «botigae» (tiendas) entre los muros contrafuertes y sus bóvedas de cañón.

Sistemas complejos para la sustentación elevada de las edificaciones palatinas

Las edificaciones que ocupaban el Monte Palatino componían el conjunto de palacios y aposentos imperiales. Las sucesivas ampliaciones efectuadas requirieron extender artificialmente el plano de coronación del monte mediante la ejecución de plataformas elevadas, al noreste, sobre el Foro Romano y sus vías de comunicación y limitadas al suroeste por el Circo Máximo.

Las alturas adoptadas, de más de 25 m, requerían la ejecución de muros de contención con muros con-

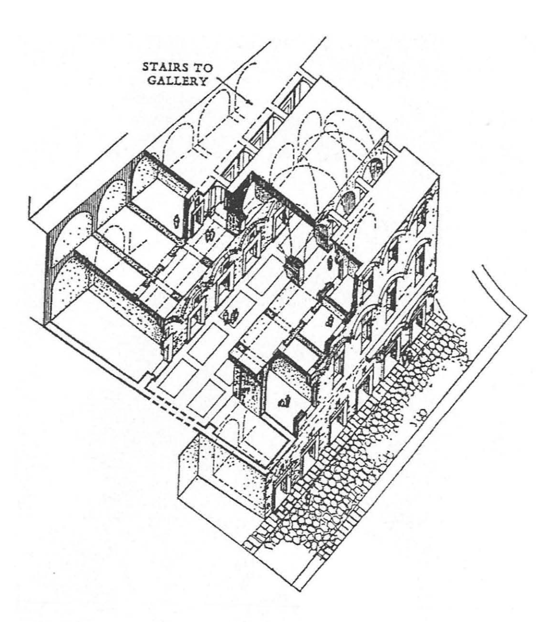


Figura 7
Axonometría de los mercados de Trajano. Fachada Norte (Macdonald 1965, fig. 75)

trafuertes transversales sobre los que estribaban las bóvedas que soportaban la plataforma. Debido a su esbeltez los muros contrafuertes se reforzaban con bóvedas y arcos de acodalamiento paralelos a plano de contención estribados a una o diversas cotas intermedias, por lo que, probablemente, pudieron servir para soportar construcciones provisionales en madera. Otro sistema de refuerzo consistía en la ejecución de muros de arriostramiento en el extremo de los muros contrafuertes paralelos al plano de contención por lo que conformaban, al mismo tiempo, el cerramiento del espacio entre contrafuertes. Si, además, los muros contrafuertes invadían una vía de circulación tenían que estar que perforarlos para mantener dicho paso. Si este hueco alcanzaba grandes proporciones se ejecutaba un acodalamiento entre sus jambas.

Las diferentes fundaciones en altura que han llegado en nuestros días, no solamente en el Monte Palatino sino también en la Villa Adriana, muestran una evolución en la estilización de los muros portantes hasta transformarse en pilastras en las fundaciones de la plataforma del palacio severiano en una estructura exenta y liberada de funciones de contención del terreno.

DOMUS AUGUSTANA (ACABADA EN EL AÑO 92 D.C.)

Es difícil poderse dar cuenta, por lo que nos queda, de los numerosos aposentos, terrazas, pórticos, peristilos y salones que extendían por el Monte Palatino. Cada emperador modificó, ensanchó, destruyó y reconstruyó lo que hiciera su antecesor. Sin embargo, por el testimonio de Suetonio, resulta segura la identificación de la «Casa de Livia», la morada original de Augusto. La entrada de la «Domus Pública» de Augusto —templo de Apolo— estaba formada por un arco sobre el que se hallaba una de las obras de arte de Lisia: una cuádriga guiada por Apolo y Diana. Este, según Propercio (siglo I a.C.) no era más que el «Vestíbulo» del Palacio de Augusto, que ocupaba una pequeña parte del monte y del que muy poco ha llegado hasta nosotros porque todo fue incluido en el nuevo palacio imperial mandado construir por Domiciano, tal vez según el proyecto de su arquitecto Rabirio. La nueva residencia imperial fue acabada en el 92 d.C.; está constituida por tres partes, la Domus Flavia, la Domus Augustana y el Estadio Palatino. La segunda parte de la Domus Augustana, o residencia particular del emperador y de su familia, tenía dos pisos, el superior a nivel del palacio de representación tenía en su centro un amplio peristilo con una fuente o impluvio central; el piso inferior tenía un segundo pórtico, alrededor del que estaban colocados los cuartos de la vivienda particular, entre los cuales muchos tenían grandes aberturas hacia el valle del Circo Máximo (Maso 1974, 10–11).

La estructura mediante la que se eleva la ampliación del palacio de Augusto sobre el de Domiciano avanza hacia el circo Máximo hasta conectarse con las gradas de éste. Esta estructura ha de respetar una vía de circulación perpendicular a sus muros contrafuertes utilizada seguramente para servicio a las dependencias palatinas y del circo. Para salvar dicha vía se construyen los muros contrafuertes perforados mediante la ejecución de grandes huecos desde la cota del terreno hasta el arranque de la bóveda de medio cañón obligando a trazar en éstos lunetos transversales. Estos huecos se cortan a media altura por arcos de acodalamiento. En el plano perpendicular a los muros contrafuertes y dada la esbeltez que alcanzan, éstos se acodalan también a media altura.

Para el acodalado de los muros se disponen dos órdenes de arcos. Los de medio punto se ubican en el

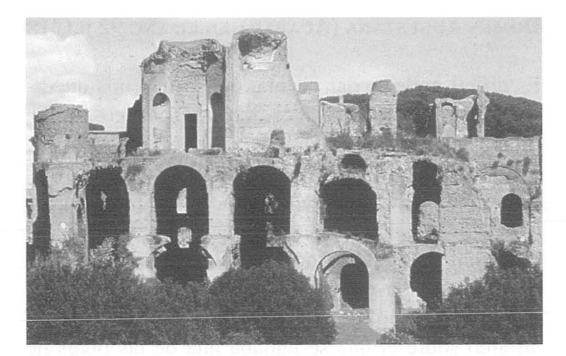


Figura 8
Ruinas de la fachada de la «Domus Augustana» al Circo Máximo



Figura 9
Vía bajo las «sostruzioni» de la «Domus Augustana»

plano de los contrafuertes como arriostramiento entre los dos huecos que, en su plano vertical, los perforan para permitir el trazado de una vía de servicio perpendicular a dichos muros. Los rebajados aparecen bajo las bóvedas de cimentación en el extremo occidental del palacio acodalando los muros contrafuertes a media altura. En otra plataforma más retranqueada del complejo palatino aparecen otros arcos rebajados acodalando los muros contrafuertes en un plano transversal. Dada la irregularidad de su ubicación y trazado podría tratarse de arcos de refuerzo construidos a posteriori de la construcción original. La obra está ejecutada en «opus testaceum» con arcos de doble rosca de ladrillo «bipedali».

Domus Tiberiana (14–17 d.C.)

Existe la opinión de que se prolongó la terraza palatina hasta la «Vía Nova» atravesando la «Clivus Victoriae» mediante una galería abovedada, mientras que otros piensan que no sobrepasaba el clivo mismo (Rivoira 1921, 77).

Esas dependencias correspondían a la «Domus Gaiana». Bajo el mandato de Calígula (37–41 d.C.) pierde la propia denominación tomando la de «Domus Tiberiana», lugar donde residieron Antonio Pio, Mario Aurelio y Lucio Vero (Rivoira 1921, 78).

La «Clivus Victoriae» es una de las cuatro calles que en la antigüedad conducían al Palatino. Su trazado, históricamente aceptado y todavía reconocible va desde el Foro Boario a la escalinata fanesina. En tiempo del emperador Adriano (117–138 d.C.) el palacio fue ampliado en la fachada domiciana hasta la Vía Nova. La ampliación de la «Domus Tiberiana» sobre el recinto de los Foros se ve obligada a salvar el trazado de la «Clivus Victoriae». Para ello el plano de los muros se interrumpe en toda la vertical, pero sus lados se refuerzan con machones y se acodalan mediante arcos a media altura. Las «sostruzioni» se resuelven mediante dos planos para poder elevar mediante arcos el palacio por encima del clivo. Las paredes sobre el lado sur del clivo estaban unidas mediante bóvedas en el plano superior mientras que en el inferior estaban rigidizadas mediante arcos. Las

«sostruzioni» abovedadas y arriostradas a media altura cada vez mas esbeltas se desarrollan tanto en el resto de dependencias palatinas —con objeto de conservar la cota elevada del Monte Palatino sobre el Circo Máximo y el Foro— como en la Villa Adriana. Por otro lado en la ejecución de arquerías a media altura habían adquirido un importante desarrollo en la elevación de los acueductos tanto en la ciudad de Roma como en otras del imperio. La fábrica se ejecuta en «opus testaceum» con arcos de doble rosca de ladrillo «bipedali».

Entre los numerosos ejemplos que no han sido hasta ahora objeto de observación, tienen importancia los numerosos casos de arquerías adosadas a las paredes de fábrica o a los muros de sostenimiento para resistir el empuje ejercido sobre ellos sosteniendo muros continuos mediante arcos transversales. Proseguía en lo alto entre el Foro Romano y el Palatino las dobles arcadas que pasaban sobre la Vía Nova y la «Clivus Victoriae». Representaban medios oportunos y geniales de refuerzo de la esbelta fábrica que se extendía sobre este lado de la colina, sobre el Foro. En los casos citados el arco es semicircular no «arco zoppo» (arco cojo) pero si tiene la función constructiva precisamente de los «archi rampanti» (arbotantes) no aplicado ciertamente a algún nudo del edificio pero formando un refuerzo de todo un muro en condiciones de permitir por su hueco la creación de un paso (Giovannoni 1913; 10: 3).

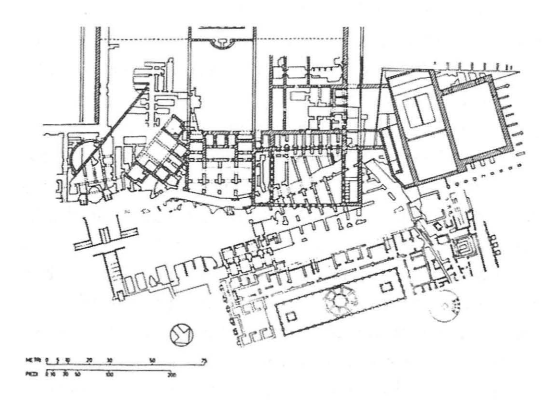


Figura 10
Plano del Palatino por el frente Norte abierto al Foro Romano (Lanciani [1893] 1990, lám. 29)

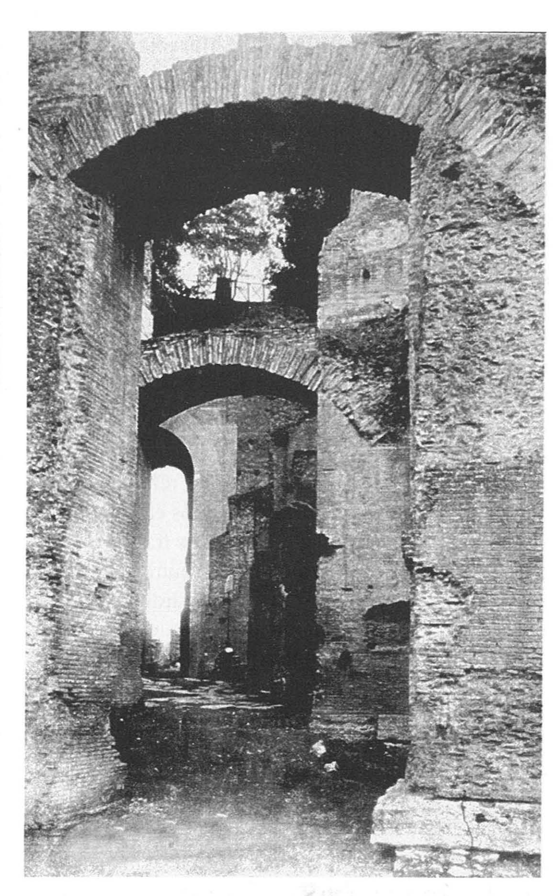


Figura 11
Ruinas de las «sostruzioni» de la «Domus Tiberina» sobre la «Vía Nova»

Villa Adriana (118–134 d.C.)

Una villa en forma de ciudad que quiere aludir a un imperio: así Adriano quiere su desaparecida residencia extraurbana. Cuanto queda de los alojamientos de los militares al servicio del emperador, anejos a sus aposentos, presenta la misma concepción grandiosa de los del Palatino y la misma y fascinante decadencia (Marini 1989, 274).

La estructura se compone de elevados muros contrafuertes acodalados a diversos niveles. Unos arcos ejecutados en «opus testaceum» acodalan los machones y contrafuertes de la que constituye la «sostruzione» de una plataforma mediante la que se prolonga el

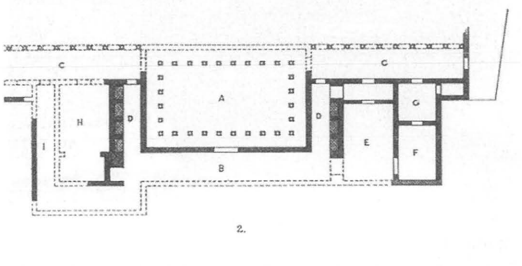
nivel del complejo palatino en la zona sureste de las Termas. De dichos arcos no quedan más que sus arranques. La enorme altura de dicha plataforma da lugar a la ejecución de un sistema de arriostramiento de los muros contrafuertes para reducir su esbeltez. Este sistema se compone de una hilera vertical de arcos de entibo en el primer plano vertical paralelo al de contención. Un segundo plano, paralelo al anterior, se resuelve mediante dos contrafuertes de segundo orden perpendiculares a cada contrafuerte principal. Existía un tercer plano vertical paralelo a los anteriores del que no queda más que su cimentación. Los muros contrafuertes, a su vez, se arriostran en su extremo externo mediante muros diafragma en un plano perpendicular a aquellos y que cierran de esta forma el espacio entre muros. Se carece de referencias fiables sobre el destino verdadero de estos edificios de la villa de los que apenas quedan algunos tramos de muros, si bien se ha atribuido al espacio entre contrafuertes la función de alojamiento de la guardia pretoriana



Figura 13
Ruinas de las «sostruzioni» del Canopo en la Villa Adriana

y de almacenamiento para lo que requeriría completarse con otros planos horizontales de forjados a diversos niveles. Sin embargo, no quedan signos de la existencia de estos forjados.

También esta construcción está encerrada en la inmensa área de la Villa Adriana y servía de alojamiento de los pretorianos o quizás fue usada como almacén (Marini 1989, 236).



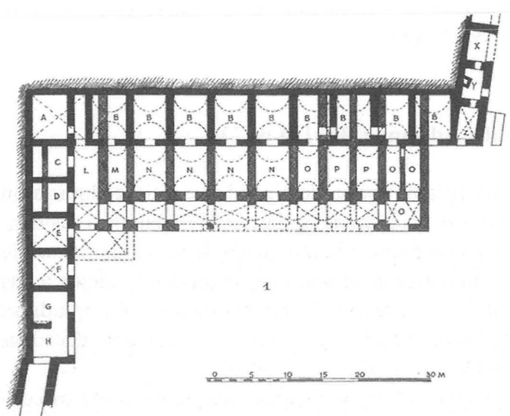


Figura 12
Plano del Canopo en la Villa Adriana (Crescenci 1996, lám. 1)

Las arcadas severianas (193–211 d.C.)

Después de un periodo de agitación y luchas de fronteras que obliga a los emperadores de Roma a ausentarse del palacio imperial por largas temporadas, la dinastía de los Severos vuelve a remarcar la presencia imperial en el Palatino.

Las construcciones ejecutadas por Settimio Severo (a. 193–211) y las de sus predecesores en el ángulo Sureste de la colina se abrían sobre el fondo de la «Vía Appia» por una fachada monumental en el 203 (Collarte 1978, 74).

El palacio de Settimio estaba fundado sobre un plano artificial ya preparado por Domiziano (a. 81–96) en prolongación de todo el ángulo sur de la colina mediante colosales «sostruzioni» desarrolladas hasta el graderío del Circo Máximo y así hasta fundirse con éste.

Parece que ya Domiziano tuvo la intención de edificar aquí un establecimiento termal como hacen suponer los cimientos del edificio y el acueducto que se

dirige precisamente a ese punto. No se sabe porqué motivo las plantas superiores fueron construidas o ampliadas en el tiempo de Settimio Severo . . . En la parte meridional de este gran cuerpo de fábrica, casi suspendido en el vacío Settimio Severo construyó un nuevo palco para poder ver desde el Palatino y casi desde su misma casa, asistir a los espectáculos del Circo Máximo (Luigi 1946, 517).

La construcción se levanta dentro del complejo de los Palacios Imperiales sobre las tres colinas del Monte Palatino. Iniciado el proceso de las consecutivas edificaciones por Augusto en el año 26 a.C., Settimio Severo realiza la ampliación del Palacio Imperial a partir de las construcciones domicianas sobre el monte Palatino. Con el propósito de mantener la misma altura de las estancias imperiales sobre el Circo Máximo, se construye una plataforma sobre pilares y arcos para soportar en su superficie las nuevas termas. Séptimo Severo lo continúa, ampliando el palacio por la parte meridional. La obra severiana conocida hoy consiste en una plataforma levantada en paralelo al Circo Máximo y a la misma cota de las instalaciones palaciegas preexistentes. La plataforma se sustenta mediante bóvedas de arista sobre al menos tres hileras de pilastras construidas en «opus testaceum». La altura del conjunto y su diafanidad obliga a arriostrar las pilastras a media altura mediante arcos de acodalamiento dispuestos en ejes perpendiculares. Se puede observar en la arquería más meridional de sus ruinas el refuerzo ejecutado a posteriori mediante el relleno de sus vanos con pilastras y arcos de acodalamiento de medio punto de diferente flecha y altura. Esta obra debió acometerse ante el temor de un desplome de los pilares originales.

Las pilastras que soportaban la plataforma se alinean en cuadrícula utilizando para este fin un sistema estructural similar al ya ensayado en la ejecución de acueductos de doble arquería pero desarrollado en dos ejes perpendiculares. Unos arcos ejecutados en «opus testaceum» y doble rosca de ladrillo «bipedali» acodalan en dos ejes perpendiculares unas pilastras cruciformes en el nivel inferior y rectangulares en el superior, es decir, a partir del plano de arcos de acodalamiento. Estas pilastras sostienen la plataforma sobre bóvedas de arista de la que arrancaban las estancias del Palacio Severiano, situándolo de esta forma a la misma cota que el resto de las dependencias palatinas.La altura de la plataforma es de unos 25 metros de altura sobre el plano de terreno actual aunque, según Lanciani, debieron alcanzar los 50 metros sobre el terreno primitivo:

La construcción de la plataforma severiana comprendía un área de 24.500 m^2 y debieron alcanzar una altura de 50 metros del plano de pavimento de la calle, lo que arroja un volumen de 1.250.000 m^3 (Lanciani [1897] 1985, 164).

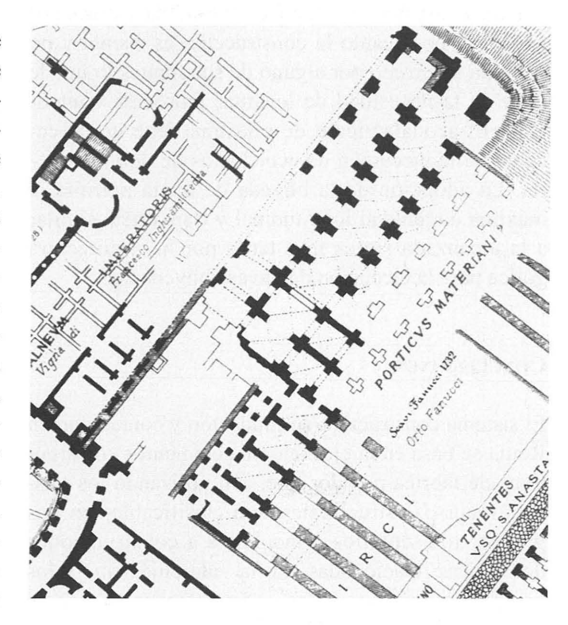


Figura 14
Plano del Palatino por el frente Sur abierto al Circo Máximo (Lanciani [1893] 1990, lám. 35)

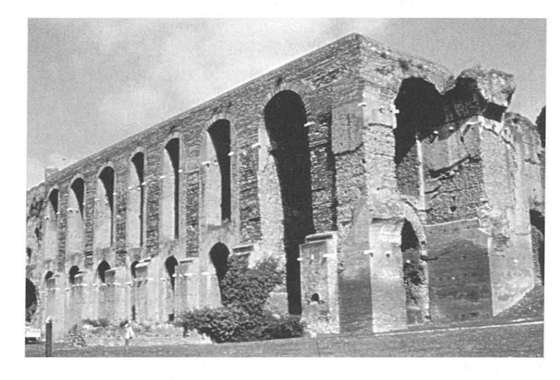


Figura 15
Ruinas de las «sostruzioni» del Palacio de Settimio Severo

Es la primera vez que encontramos una sistemática aplicación de la crucería bajo la forma de tres cadenas a modo de refuerzo, ya iniciado bajo Adriano (117–138) en la villa «Sette Bassi» . . . En las «sostruzioni» mismas se observa el sistema de arriostramiento creado en el remate de las pilastras en donde se apoyaba el armazón (Rivoira 1921, 202–203).

Esta construcción emplea un sistema estructural novedoso por cuanto la construcción es exenta y no adosada al terreno por alguno de sus frentes lo que le liber de la necesidad de levantar muros de contención. El acodalamiento de pilastras tiene un precedente en la ejecución de acueductos de doble arquería. La adopción de la bóveda de arista permite la máxima diafanidad longitudinal y transversal similar a la alcanzada siglos más tarde por la arquitectura gótica para la ejecución de naves abovedadas.

Conclusiones

El sistema constructivo de fundación y contención en Roma se basa en la ejecución de elementos constructivos de fábrica pesados que, aún utilizando los mismos recursos estructurales, son clasificables en dos grupos: los sencillos, vinculados a construcciones domésticas relacionadas con la vida ciudadana y los complejos soportes de las construcciones singulares palatinas al servicio del Emperador.

Las características de ambos grupos responden a diversos factores:

Urbanísticos

Los sistemas de fundación vencen y superan las dificultades orográficas de un terreno urbanizado entre colinas a las que está sometida la expansión de Foro de Roma. Fruto de este reto es la generación de sistemas constructivos de fundaciones y contenciones capaces de resolver en altura y extensión las exigencias urbanas. La ordenación urbana cartesiana, adoptada en foros y mercados, se impone a la topografía natural en diverso grado: en los sistemas simples el trazado urbano, sin renunciar a formas geométricas puras, intenta adaptarse a las escarpaduras mediante una traza viaria escalonada. En los sistemas complejos, las construcciones palatinas se extienden sobre plataformas sin concesiones ni a la orografía ni a los trazados urbanos de planos inferiores que invade pero que respeta. Incluso en el caso de Villa Adriana no es tanto una necesidad de disposición de terreno sobre una trama urbana pre-existente sino el deseo de levantar un volumen edificado alterando los declives naturales del terreno.

Estructurales

Las mayores alturas de los sistemas complejos introducen problemas de estabilidad derivados de su esbeltez que dan lugar a soluciones singulares y a la introducción de otros elementos refuerzo. La construcción de la plataforma severiana constituye en este sentido un hito al recurrir a soluciones constructivas de elevación ya utilizadas para la nivelación del «speum» de los acueductos romanos.

Arquitectónicos

Los sistemas simples están vinculados al uso del propio sistema de contención para las actividades dotacionales de la población. Es la necesidad de construir edificaciones para acoger servicios ciudadanos lo que plantea la necesidad de diseñar sistemas constructivos adaptados a la orografía escarpada y no al revés. Su solución formal dispone el acceso a los espacios interiores mediante el desarrollo de fachadas abiertas a las vías urbanas. Los sistemas complejos no tienen otro sentido funcional que estructural de soporte a la plataforma superior. Por las referencias que nos han llegado de la fachada palatina al Circo Máximo, su solución formal tiene un marco carácter monumental al constituir un enorme plinto para resalte del palacio en el nivel alto. Una excepción es el plinto del monumento al Divo Claudio en el que parte de un sistema simple de fundación dada la escasa altura a que se eleva pero no vinculada a uso alguno dado el carácter monumental complejo edificado.

Notas

1. «Sostruzione: la parte sotterranea di un edificio».
2. Según el Diccionario de la Lengua Española; Fundar: (2ª acepción) estribar, apoyar, armar alguna cosa material sobre otra; Fundamento: (1ª acepción) principio y cimiento en que estriba y sobre el que apoya un edificio u otra cosa.Real Academia Española de la Lengua 1970.

Lista de referencias

Amici, Carla María 1991. *Il foro di Cesare*. 48–57. Firenze: Leo S. Olschki Editore.

Collarte, Paul 1978. *Au palatin*. 74. París.

Crescenci, Livio 1996. Villa Adriana. Lám. 1. Roma: Sopraintendenza Archeologica per il Lazio.

Giovannoni, Gustavo 1913. Prototipi di archi rampanti in construzioni romane *Annali della societa degli ingenierie degli architetti italiani* nº 10/ 16–5–1913: 3. Roma: L'Universelle.

Gros, Pierre y TorellI, Mario 1988. Storia dell'urbanista. *Il mondo romano*. 194–198. Bari: Ed. La Terra.

Lanciani, Rodolfo [1893] 1990. *Forma Urbis Romae*. Lám. 29–35. Roma: Edizioni Quasar.

Lanciani, Rodolfo [1897] 1985. *Rovine e scavi di roma antica*. 164. Roma: Edizioni Quasar.

Leger, Alfred 1875. *Les travaux publics aux temps des romains*. Lámina II. Paris.

Luigi, Giuseppe 1946. *Roma antica. Il centro monumentale*. 517. Roma: Ed. Giovanni Bardi Luigi, Giuseppe 1957. *La tecnica edilizia romana*. Tav. 86. Roma: Ed. Giovanni Bardi.

Macdonald, William L. 1965. *The architecture of the roman empire*. Figuras 20–75. New Haven, London: Yale University.

Marini, Mauricio. *Le vedute di Roma*. 236–274. Roma: Newton Compton editori.

Maso, Leonardo B. dal. *Roma dei cesari*. 10–11. Roma: Bonechi-Edizioni.

RAE 1970. *Diccionario de la Lengua Española*. Madrid: Real Academia Española.

Rivoira G.T. 1921. *Archittetura Romana*, 77–206. Milano: Ulrico Hoepli.

Láminas plegadas de hormigón armado. Realizaciones en España

Rafael García García

Las estructuras formadas por plegaduras de hormigón armado constituyen un conjunto de formas estructurales cuya vigencia en cuanto que formas construidas tuvo una duración que apenas superó las dos décadas. En efecto, si consideramos el conjunto de sus realizaciones efectivas, éstas se aprietan mayoritariamente entre comienzo de los años 50 y el final de los 60 del siglo XX. Singularmente puede certificarse su final con el Congreso de la Internacional Asociation of Shell Structures (IASS) celebrado en Viena en 1970. En él se presentaron las últimas y más grandes realizaciones con este sistema (Sala de Conferencias de la UNESCO, en París de Nervi, Breuer y Zehrfuss y un hangar para la Alleghany Airlines en el aeropuerto Logan de Boston, salvando este último una luz récord de 75,86 m con una lámina plegada simple). No obstante las esperanzas puestas en la geometría de plegaduras, en buena parte alentadas por dicho Congreso, apenas se hicieron ya obras destacables a partir de la fecha del mismo. Es llamativo, por otra parte, que aunque pueden considerarse un ciclo prácticamente cerrado apenas se han estudiado en su conjunto, existiendo muy contados trabajos al respecto. (Kramer 2005; García 2006a; García 2006b).[1]

En España el periodo de auge de láminas plegadas de hormigón estuvo representado por un relativamente limitado número de realizaciones que no obstante presentan gran interés en cuanto a su variedad y calidad arquitectónica. El profesor Cassinello hizo de este sistema estructural una presentación clara y sintética: «las láminas plegadas, definidas por planos que se cortan, ofrecen indudables posibilidades de aplicación al ser capaces de dar un gran canto, pese a su poco espesor, y una gran rigidez transversal, gracias a su forma» (1974, 542) (fig. 1). Está también entre sus ventajas el hecho de que: «la dificultad de encofrar superficies de simple o doble curvatura se elimina con la solución de láminas plegadas. Y así, como superficies poliédricas inscritas en bóvedas o cúpulas pueden resolver gran número de estructuras

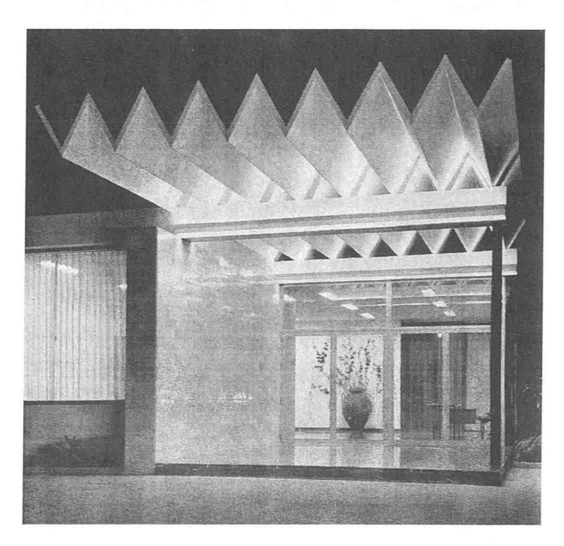


Figura 1
Laboratorios Alter (Cassinello 1961)

de este tipo» (Cassinello 1974, 542). Desde el punto de vista del comportamiento estructural, F. Candela clasifica las estructuras prismáticas y losas dobladas como aquellas que, a diferencia el resto de estructuras laminares, están «sometidas a régimen mixto de esfuerzos de membrana y flexión» (Faber 1970, 23).

Siguiendo nuevamente a Cassinello, salvo para los casos más simples «se produce una tremenda complicación de su cálculo por el efecto que ejerce cada elemento unitario en sus vecinos, como consecuencia de la solidaridad del conjunto, originándose empujes y momentos flectores transversales, deformaciones notablemente distintas respecto de cada elemento unitario, posible pandeo de sus caras etc» (1961). En realidad, su cálculo exacto era conocido desde los años 30 del siglo pasado gracias a los trabajos iniciados por Ehlers en Alemania y proseguidos por Gruber, Craemer, Frugge, Girkmann y otros. Sin embargo, dado que estos análisis requerían consideraciones matemáticas de cierta complejidad, basadas generalmente en el cálculo diferencial y de dificultosa aplicación práctica, no fueron accesibles para la mayoría de los calculistas hasta la publicación de métodos aproximados, sobre todo en Estados Unidos. Un referente de este tipo de trabajos aproximados es el de Winter y Pei (1947). En España un procedimiento de cálculo directo relativamente accesible desarrollado por Parme y Sbarounis fue publicado en la revista *Informes de la Construcción* (1961). No obstante, en opinión de Cassinello no fueron solo las complejidades de cálculo las que frenaron el uso de estas estructuras, «sino los prejuicios estéticos ante una nueva forma que iba a romper con las doctrinas y moldes en boga», dando como factores favorables para su aceptación «el triunfo espectacular de la arquitectura agresiva, personal y dinámica de Wright, y el ensayo, en gran escala, desarrollado en la estructuralista Exposición de Bruselas». A ello se sumaría, la agresividad de sus formas, la cual «ha venido a dar nueva expresión y movimiento a los limpios y puros volúmenes racionalistas, puristas y neoclásicos, en los que el ángulo recto y la línea inclinada no tenía lugar en su invariable credo de paralelismo y ortogonalidad» (1961).

Aplicaciones menores en el panorama español

Los principales ejemplos de que tenemos constancia realizados en suelo español se concentran temporalmente en un muy breve espacio de tiempo, prácticamente entre finales de los 50 y comienzos de los 60. Solo unas pocas láminas de este tipo, como veremos, traspasarán esa década adentrándose en las siguientes. Azpiazu Ordóñez señalaba al comienzo de la década de los 70 que en relación a las cubiertas laminares, «llevamos 37 años de experiencias y ahora empieza a decaer su desarrollo por el coste excesivo del encofrado y por no haber encontrado un sistema de prefabricación adecuado que permita que estas cubiertas laminares no pierdan su condición de cáscara al perder su monolitismo y dividirse en una serie de elementos prefabricados» (1971, 42).

Aunque la primera realización de estructura plegada española con referencia fiable es ya una solución notable, correspondiente a la cubierta del comedor de la Universidad Laboral de Tarragona terminada en 1959 según proyecto de Torroja y De la Vega, vamos a considerar previamente otras láminas de menor envergadura ya que ésta será estudiada individualmente con cierto detalle al final del trabajo. Comenzaremos por tanto con algunos comentarios sobre diversas estructuras menores, las cuales, no obstante, marcan un panorama de incorporación de láminas plegadas como elementos complementarios dentro de edificios o estructuras de mayor entidad. Así por ejemplo, pueden incluirse aquí algunos trabajos de inicios de los 60 de Miguel Fisac con láminas plegadas de pequeñas dimensiones y empleadas más bien como elementos expresivos complementarios. Entre ellas sería notable, no por su tamaño sino por su cualidad formal, la «airosa y enérgica lámina plegada» que, realizada como marquesina de entrada de los laboratorios Alter en Madrid finalizados en 1961, «recibe al visitante y le sorprende con el cambiante y magnífico aspecto que proporciona la luz (natural o artificial) al crear sombras y penumbras vaporosas» (Fisac 1961) (fig. 1). Aunque no hemos encontrado especificaciones de sus dimensiones, por estimación basada en los planos publicados, sus ocho pliegues triangulares continuos cubren un pequeño vano de 5,20 m entre las dos vigas horizontales sobre las que apoyan, con vuelos por ambos extremos, rondando el delantero los 3 m. El canto podría acercarse a los 60 cm.

Para una segunda marquesina en la entrada del Centro de Información y Documentación del Patronato «Juan de la Cierva» del CSIC en Madrid terminado en el mismo año, Fisac empleó otra pequeña lámina plegada, en este caso dispuesta transversalmente y

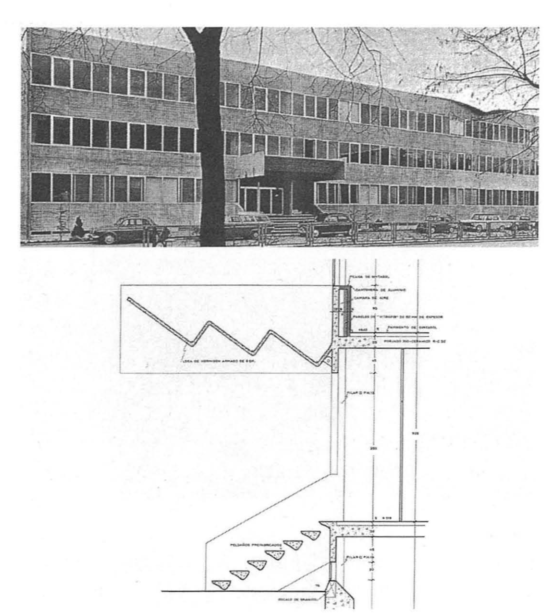


Figura 2
Centro de Información y Documentación CSIC (Arqués 1996, 165; Cánovas 1997, 136)

empotrada en sendas ménsulas rectangulares de espesor, así mismo laminar, y con las que forma un conjunto de gran rigidez (fig. 2). El vuelo de la parte cubierta sobrepasa los 3,5 m con una anchura o luz de plegadura cercana a los 6 m. Su espesor es de 6 cm y su perfil, no formado por Vs de lados simétricos, asciende quebradamente hacia el borde libre.

Siguiendo con las aplicaciones relativamente secundarias de formas plegadas se tendrían también que citar las de uso como elemento soporte o incluso de contención, aprovechando la rigidez y estabilidad de su configuración como ángulos diedros en posición vertical. En su colaboración para la iglesia de Guadalupe en Madrid comenzada en 1963 según proyecto inicial de Enrique de la Mora y Félix Candela, Aspiazu empleó series de diedros-nicho o semipirámides en el perímetro como apoyo del borde libre de los paraboloides hiperbólicos de la cubierta. Dichas formas plegadas fueron calculadas por José Antonio Torroja (Madrid 1983) (fig. 3). Un uso muy semejante se encuentra también en la iglesia parroquial de Nuestra Señora del Valle en Becerril de la Sierra en Madrid (1965–68), obra del dominico arquitecto Fray Francisco Coello de Portugal. En este caso se emplean dos grandes diedros, también de lados triangulares, como soporte de los vértices más altos del único paraboloide hiperbólico de la cubierta (fig. 3). Como colaboradores intervinieron en este caso José Ruiz-Castillo y Ricardo Urgoiti que anteriormente habían trabajado con Félix Candela (Fernández 2001, 113). El mismo Coello de Portugal había empleado el principio de rigidez derivada del pliegue vertical, pero en este caso con planos no doblados sino intersecados, en la esbelta torre exenta del Santuario de la Virgen del Camino en León (1955–61). También Fisac hizo uso de láminas plegadas como diedros verticales en los remates de la torre de los laboratorios Jorba.

Es de advertir aquí que algunas construcciones de la época, estimuladas por el entonces atractivo visual de las formas plegadas y poliédricas, pueden ofrecer imágenes de estructuras de esta clase aunque tanto por construcción como por comportamiento no sean auténticos casos de construcción laminar. Un ejemplo quizás intrascendente pero significativo a este respecto son las cubiertas en paraguas de la estación de servicio en Gijón (1962) proyectada por Mariano Marín Rodríguez. En efecto, cada una de las pirámi-

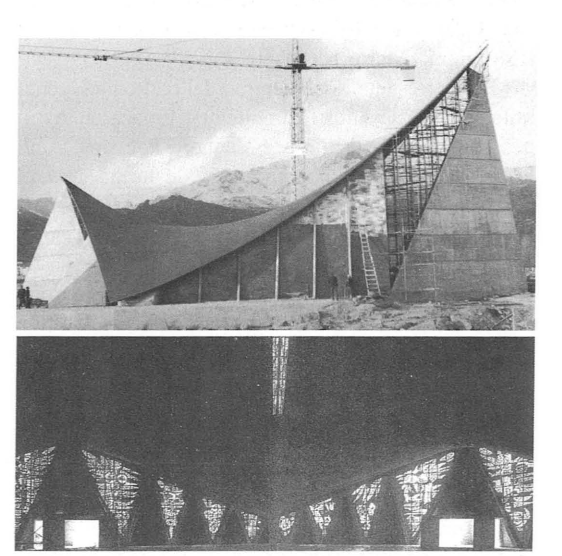


Figura 3
Nuestra Señora del Valle (Fernández 2001, 112). Nuestra Señora de Guadalupe (Azpiazu 1971, 47)

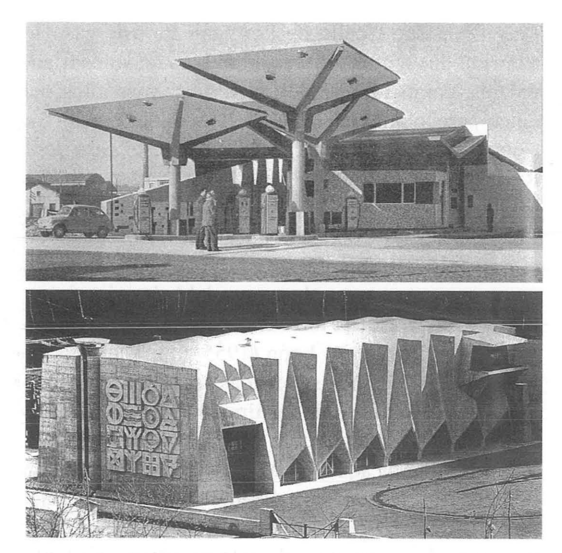


Figura 4
Estación de servicio en Gijón (Marín 1962). Central eléctrica de Proaza (Pérez 1992, 218)

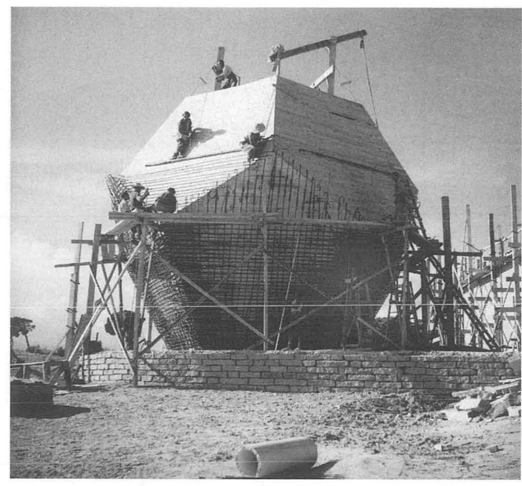


Figura 5
Depósito de carbón ITCCET (Archivo Documental ITCCET)

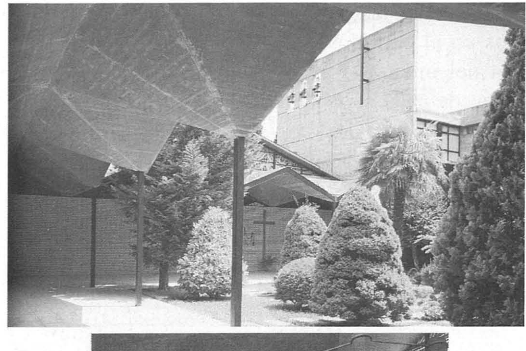
des invertidas que en apariencia serían láminas continuas, no son tales sino simples forjados inclinados apoyados sobre los nervios de las aristas que están calculadas y actúan como ménsulas a partir del vástago central (Marín 1962) (fig. 4).

Más interesante es el ejemplo del edificio de generadores de la Central Hidráulica de Proaza en Asturias (1964–5) realizado por Vaquero Palacios. Aquí la decisión de dar una apariencia de forma general facetada, plegada y por momentos cubo-expresionista se consigue no haciendo de las láminas elementos estructurales sino paneles de cerramiento (fig. 4). En este caso, «la estructura portante de hormigón armado se reviste totalmente, incluso en la cubierta, con piezas laminares prefabricadas in situ» (Pérez 1992, 216). Dicha estructura portante está en este caso constituida por sólidos pórticos rígidos longitudinales de hormigón adecuados además para las cargas derivadas del puente grúa interior. Las placas de recubrimiento siguen en las fachadas un patrón de pliegues contrapuestos sobre el que, sin embargo, las excepciones de los portones para acceso de maquinaria y de las balconadas para acometidas de conductores eléctricos conforman soluciones de extraordinario valor plástico. Formas plegadas a juego con el edificio sirven también de muro de contención en la parte de la ladera de la montaña, también en este caso al parecer con auténtica función resistente.

Como elemento complementario tampoco puede dejar de citarse finalmente el depósito dodecaédrico de hormigón del Instituto Técnico de la Construcción y el Cemento Eduardo Torroja (ITCCET) finalizado hacia 1959 y ejemplo singular como aplicación a un recipiente. Inscrito en una esfera de 10 m de diámetro alcanzó una altura de 7,95 cm con un espesor de caras laterales de 22 cm (fig. 5).

Estructuras plegadas en arquitectura escolar y conventual

Una serie de soluciones de escala intermedia pero con un papel estructural definido como láminas de cubierta se encuentran en varios de los edificios de carácter religioso del antes mencionado Coello de Portugal. Este arquitecto empleó con frecuencia este tipo de cubriciones en algunas partes de sus edificios siendo uno de los principales arquitectos españoles en el uso de plegaduras de hormigón. Se pueden ver por ejemplo en forma de láminas prismáticas con perfil en Z en la cubierta del salón de actos del Colegio Santo Domingo de Guzmán en Palencia (1962–5). Una utilización más sistemática de láminas plegadas para cu-



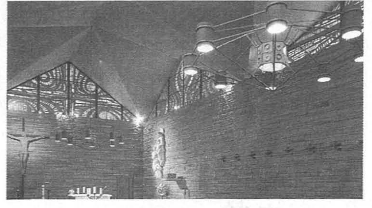


Figura 6
Monasterio de Sta Catalina de Siena. Claustro e interior iglesia (Fernández 2001, 131–2)

biertas la realizó en el Monasterio de Santa Catalina de Siena (1966–68) en la localidad madrileña de Alcobendas a partir de la forma a cuatro aguas con limahoyas en las diagonales. Esta sencilla forma, que también puede verse como la intersección de dos cubiertas a dos aguas perpendiculares entre sí, tiene la ventaja, al construirse mediante una lámina continua, de que no es desarrollable sobre un plano y por tanto es rígida y estable en sí misma. Su imagen desde arriba es tradicional, ya que en nada se diferencia de las cubiertas de faldones convencionales, pero desde su intradós es muy diferente ya que se percibe como una contraforma en negativo, en la que la naturaleza de los plegamientos cobra un especial protagonismo.

Esta forma base se empleó en la cubierta del claustro mediante adición de unidades de planta cuadrada de pequeño tamaño, en torno a 4,5 m de lado, pero hormigonadas conjuntamente dando lugar a una lámina continua (fig. 6). Colaboraba a la sensación airosa y delgada de dichas láminas el sistema de apoyos, reducido a esbeltos soportes metálicos situados en sus esquinas.[2] Con mayor dimensión la misma lámina de planta cuadrada tipo se utilizó como cubierta de la iglesia, jugando en este caso con variaciones en las pendientes entre unas unidades y otras, y en el refectorio. (fig. 6). La misma solución fue empleada bastante más recientemente por el mismo arquitecto en el Monasterio de Jesús y María en Toledo (1980–83) en la que es, hasta tanto como hemos podido conocer, el ejemplo más tardío de utilización de láminas plegadas en España.

Del mismo arquitecto, merece citarse también la curiosa solución de láminas de la planta superior del claustro del Monasterio de la Encarnación de Lejona en Vizcaya también de terminación bastante tardía (1968–76). Corresponden a una cubierta a dos aguas pero con pendiente quebrada y mucho más pronunciada en el centro, coincidiendo con su eje longitudinal, produciendo un acusado alzamiento en esta zona. A ella se le superponen en perpendicular series de pliegues triangulares muy peraltados y cruzados transversalmente, los cuales se manifiestan en el borde libre como agudas elevaciones del alero semejantes a las producidas por ventanas abuhardilladas en cubiertas de montaña (fig. 7).

Lo notable de las cubiertas de claustro referidas es que nuevamente se construyen como láminas delgadas y continuas de hormigón, produciendo un efecto de gran complejidad desde el intradós. A ello se suma la solución de soporte de las mismas, mediante

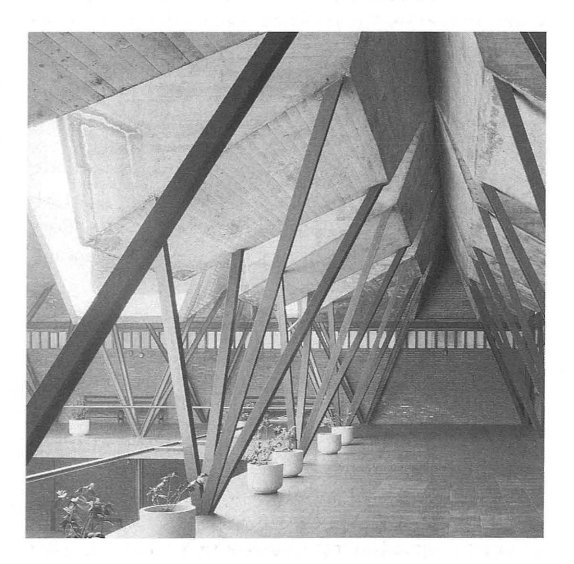
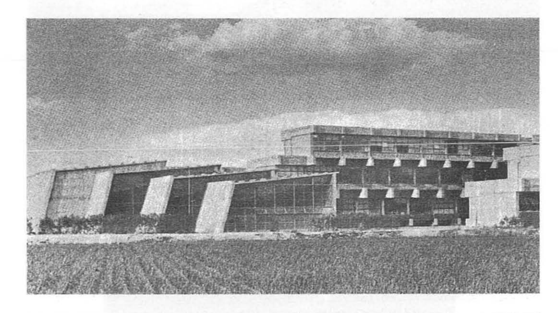


Figura 7
Monasterio de la Encarnación (Fernández 2001, 156)

haces de perfiles de acero inclinados que proporcionan apoyos en las cuatro esquinas de los paños de faldón con menor pendiente. Estas «unidades de esquemas arborescentes» son asimismo estables por su configuración geométrica y no producen empujes.

Las realizaciones de De Coello, tienen ciertas similitudes con lo realizado por el citado José Ramón Azpiazu Ordóñez para el Instituto de Enseñanza Secundaria Sorolla en Valencia finalizado hacia 1969, aunque en este caso hay un claro alejamiento de las formas tradicionales. Azpiazu, que debe considerarse como el principal practicante de estructuras plegadas en España o al menos el autor de varias de las más destacadas, empleó aquí para la cubrición de los porches y espacios principales del Instituto diferentes variantes de un tipo de plegamiento que podemos llamar con conicidad y que tiene por característica el ir disminuyendo la altura y forma de los pliegues desde un extremo hacia el otro, pudiendo tender incluso a un borde en el que teóricamente desaparecerían formando un línea recta sin quiebros. Esta forma puede extenderse sobre un plano, lo cual parece en principio contravenir las propias recomendaciones del autor: «conviene que no sean desarrollables y que tengan inercia variable, comportándose muy bien ante los efectos sísmicos y de viento» (Azpiazu y Cervera 1975, 42). Sin embargo, puede verse cómo se convierte en no desarrollable sobre un plano al disponerse de forma combinada junto a otras del mismo tipo pero orientadas en forma contrapuesta, tal y como se empleó en los porches del Instituto. La misma clase de lámina sirvió también para marquesinas en voladizo que forman los porches de entrada y garaje.[3]

Para el salón de actos y el gimnasio las láminas, ligeramente modificadas y con luz mayor (12 m), siguieron otra disposición, doblándose por un lado y formando en su prolongación el muro de cerramiento de uno de los laterales de dichos espacios (fig. 8). Este muro, también plegado, pero con espesor mayor que el de la cubierta, estaba a su vez inclinado hacia el interior. El resultado puede considerarse en este caso, por tanto, como una lámina continua que forma techo y pared y que es a su vez rigidizada por múltiples plegamientos menores. En cierto modo podemos decir que se trata de un pórtico laminar continuo. El apoyo de la lámina en el lado opuesto se realizó directamente sobre muros ciegos dotados de un babero de plomo o cobre como elemento de articulación. Para asegurar una total rigidez transversal, todas las láminas se construyeron con nervios en el extradós, rompiendo con la percepción lisa del mismo (fig. 9). Asimismo, las líneas de unión de cada serie de láminas con las de orienta-



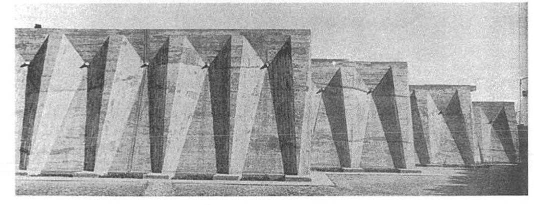


Figura 8
Instituto Sorolla. Láminas salón de actos y gimnasio (Azpiazu 1969)

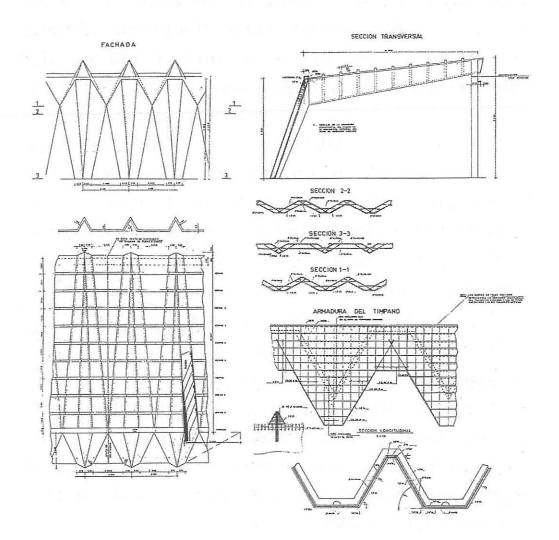


Figura 9
Instituto Sorolla. Planos lámina porticada salón de actos y gimnasio (Azpiazu 1969)

ción opuesta (porches) o con las de muro de cerramiento (espacios comunes) se reforzaron con planos diafragma o «tímpanos» que aún rigidizan más el conjunto de las láminas en sentido transversal. Por el contrario, ninguno de estos refuerzos y nervaduras es visible desde el intradós.[4]

Grandes láminas de cubierta

Aunque pueda parecer paradójico, las estructuras más importantes construidas con láminas plegadas en nuestro país son bastante tempranas y desde luego anteriores a muchas de las hasta ahora comentadas; si las consideramos en último lugar y no seguimos un orden cronológico es debido a razones expositivas y a que separadas del resto pueden centrar mejor nuestra atención dada su singularidad. Así, la primera de las dos construidas, la estructura de tribunas del Canódromo de Madrid finalizado en 1962 y erigida también bajo la dirección y proyecto de Azpiazu, es anterior en unos siete años a su Instituto y a la vez de un riesgo estructural claramente superior a lo realizado posteriormente en aquél.[5] Dicha estructura es probablemente la más espectacular de cuantas se han realizado en España con este sistema. Sus tribunas, con voladizos de 18 m sobre pórticos separados 8 m, constituyen también una de las estructuras de su clase más grandes realizadas internacionalmente (fig. 10). Sin embargo, la solución prevista en un principio no era de tipo plegado:

> en el proyecto inicial se pensó en construir la cubierta a base de láminas de hormigón armado en forma de paraboloides hiperbólicos, con lo que se obtenía una notable economía de construcción al conseguir el comportamiento como membrana, trabajando el hormigón sólo a compresión y precisándose solamente una armadura de 15 kg/m^2, pese al fuerte voladizo de la cubierta. La necesidad de adoptar un zuncho pretensado que permitiese corregir la deformación de las esquinas de los paraboloides para conseguir la deformación de las esquinas de los paraboloides para conseguir una línea de cornisa recta suponía un notable retraso de la obra, lo que obligó a huir de esta solución dada la imposibilidad de ampliar el plazo de ejecución de la misma (Aspiazu *et al.* 1962).[6]

La solución realizada es una lámina plegada no desarrollable, de inercia variable y en realidad del mismo tipo que las comentadas para los porches del Instituto. En efecto, su rigidez e indeformabilidad geométrica se deben también a la unión contrapuesta de dos láminas con conicidades opuestas, lo que favorece por otra parte la disminución del canto hacia los bordes y por consiguiente la adecuación a la variación de los momentos (fig. 11). Se soporta en una única alineación de soportes y su asimetría es compensada con otra serie de tirantes en V que la anclan en su parte posterior al borde del graderío. Fueron necesarios también nervios transversales de rigidización en el extradós y un plano vertical de tímpano en la unión entre las láminas de conicidades opuestas, justo sobre la línea de soportes centrales. Ninguno de estos elementos marca resalte alguno desde el intradós. Esta solución de lámina trabaja en régimen de flexiones, exigiendo una armadura media de 33 kg/m^2.

En cuanto al proceso de su construcción:

> la necesidad de construir toda la tribuna en una sola fase, debido a la premura de tiempo, obligó a emplear gran número de encofrados y una complicada estructura tubular metálica como cimbra de apoyo de los mismos (Aspiazu *et al.* 1962).

También las operaciones de descimbrado requirieron especiales cuidados:

> Se desencofró, primeramente, la zona comprendida entre la línea de apoyos y tirantes, tensándose éstos a continuación, operación que se hizo simultáneamente en todos ellos. El desencofrado de la parte elevada se realizó el mismo tiempo en toda su longitud, con objeto de evitar tensiones producidas por el descenso parcial de las partes desencofradas. La flecha apropiada en el borde fue de 5 cm (Aspiazu *et al.* 1962).

Otro proyecto de lámina interesante del mismo Azpiazu es la del finalmente no construido «Palacio del Tenis» para el Club de Tenis Chamartín en Madrid, la cual hubiera cubierto una superficie de 59 m por 58,40 m albergando tres pistas de tenis y gradas de hasta 6000 espectadores. La solución laminar, tal como se deduce de los planos, hubiera sido francamente espectacular con plegaduras porticadas salvando 58,40 m entre apoyos y prolongación de las mismas en los extremos formando los cerramientos (fig. 12). Dichos apoyos estaban constituidos por soportes aislados situados en la parte superior de los graderíos. Entre las partes plegadas de cerramiento

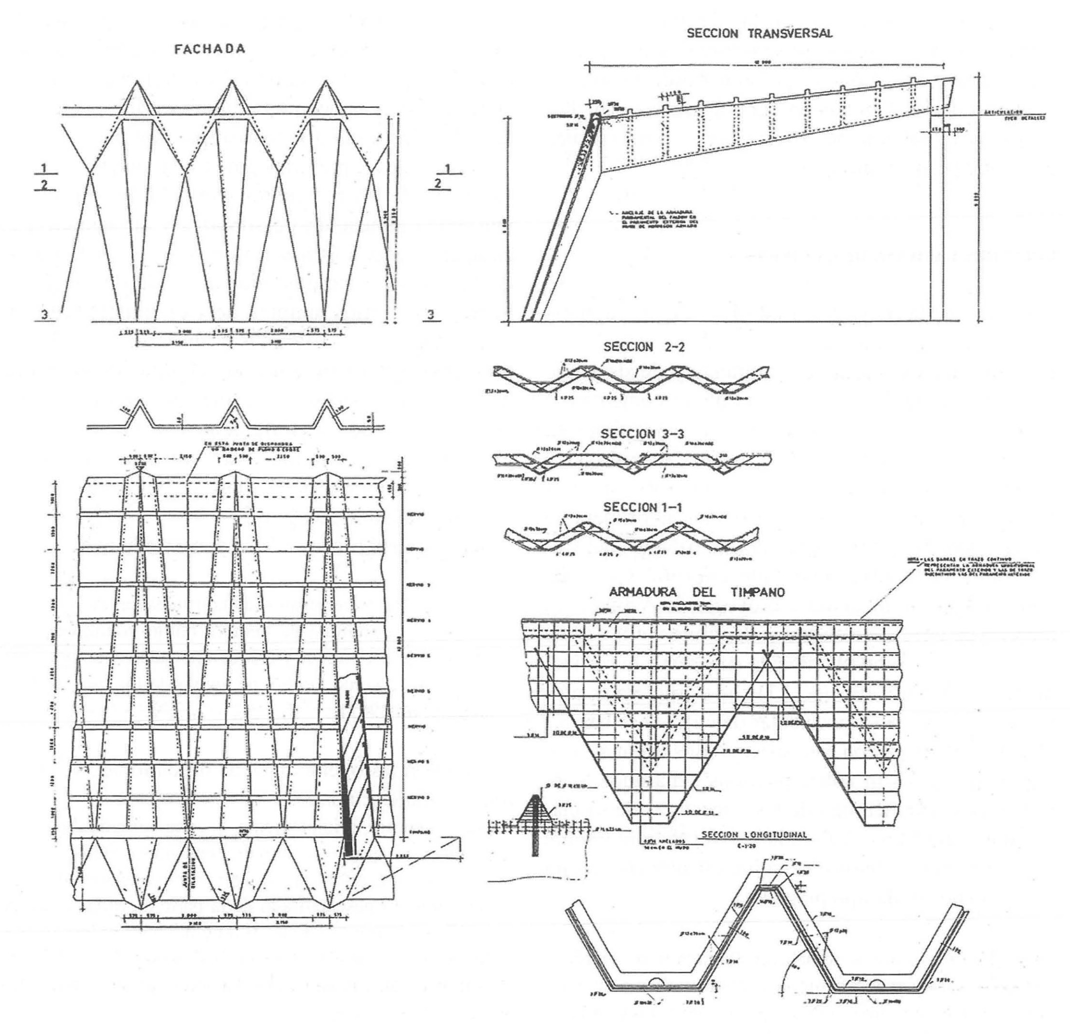


Figura 10
Canódromo de Madrid (Azpiazu 1962)

sobre las gradas se dejarían amplios ventanales cerrados con plástico traslúcido sobre estructura metálica adaptándose a los espacios trapezoidales dejados libres. Este mismo cerramiento translúcido se aplicaría a los alzados de los fondos. En éstos, dicha parte traslúcida estaría por encima de las paredes ciegas, también de estructura plegada.

Con todo, de este proyecto quizás lo más singular hubiera sido su gran abertura en el centro de la cubierta para competiciones a cielo abierto sobre la pista central. Ello hubiera sido posible gracias a la interrupción de las plegaduras centrales, que quedarían como voladizos bastante semejantes a las del Canódromo, y a una prevista cubierta corrediza superpuesta, formada por un entramado metálico y placas de cloruro de polivinilo. El conjunto de esta solución daría respuesta a «las exigencias de la Copa Davis de no poderse jugar en recintos cubier-

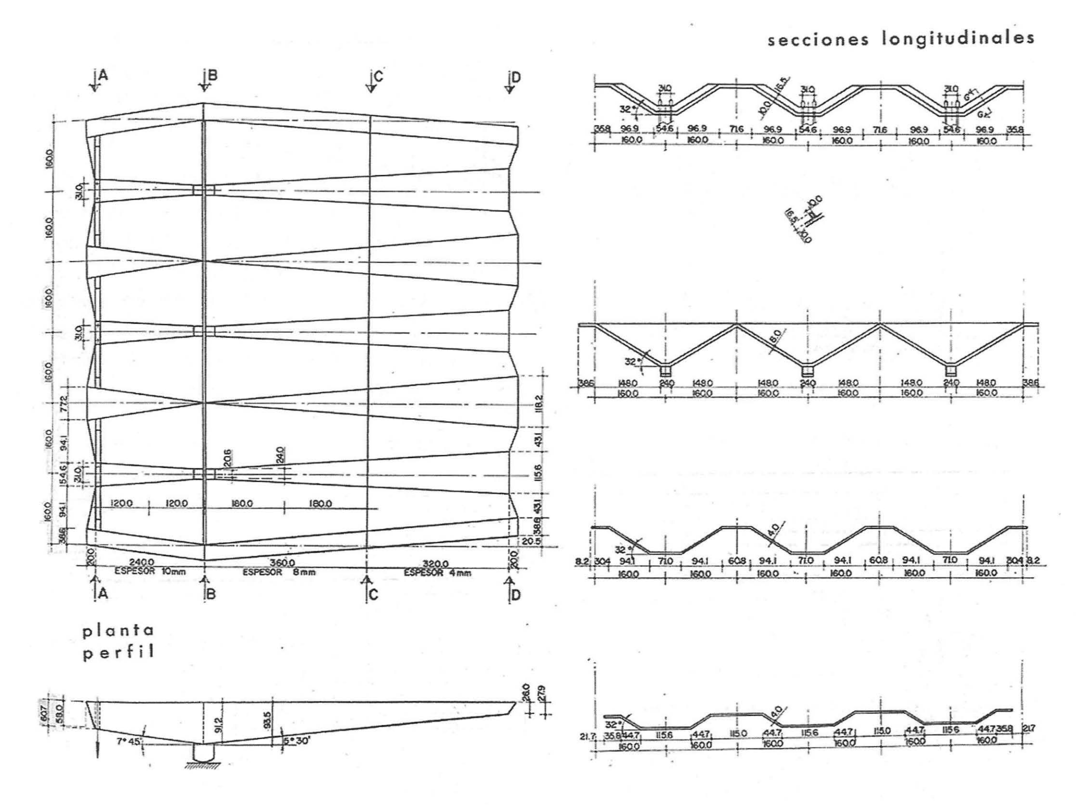


Figura 11
Canódromo. Planos del modelo reducido para ensayo (Azpiazu 1962)

tos» por lo que «la pista central se tenía que poder descubrir a capricho. Este requisito nos hizo eliminar el sistema de láminas colgadas, que para estas dimensiones y luces libres son las más indicadas, y optamos por la solución de lamina plegada, de hormigón armado pretensado, dejando libre la pista central» (Azpiazu 1971, 46).

Como último ejemplo a considerar trataremos brevemente sobre la ya citada cubierta del pabellón de comedores de la Universidad Laboral de Tarragona. Realizada según proyecto de A. de la Vega y Eduardo Torroja, como se mencionó, y contando con la colaboración de los ingenieros Del Pozo y Páez, debe su singularidad no solo a su forma y dimensiones, sino también a ser la primera de las láminas plegadas realizadas en España de que tenemos constancia. En ella, además, se utilizó la técnica del postensado, la cual no parece haberse empleado en casi ninguna de las anteriormente estudiadas. Solamente sería una excepción el tensado de los soportes en V de la tribuna del Canódromo, siendo el resto simplemente armado.[7]

En el caso de Tarragona el espacio a cubrir es de 57,6 m × 20 m de luz libre tratándose de:

> una cubierta plana, plegada, constituida por una serie de placas triangulares, de 12 cm de espesor, alternativamente inclinadas en uno u otro sentido, y cuyas líneas de intersección forman las correspondientes limatesas y limahoyas. Las limatesas son horizontales, pero no normales a los planos de fachada. Las limahoyas, contenidas en planos perpendiculares a las fachadas, tienen una determinada pendiente que facilita la evacuación de las aguas pluviales . . . Todas estas superficies triangulares son iguales entre sí . . . Dada la igualdad de todos estos triángulos y su desarrollo plano, el encofrado de la lámina resulta muy sencillo (Torroja 1959).

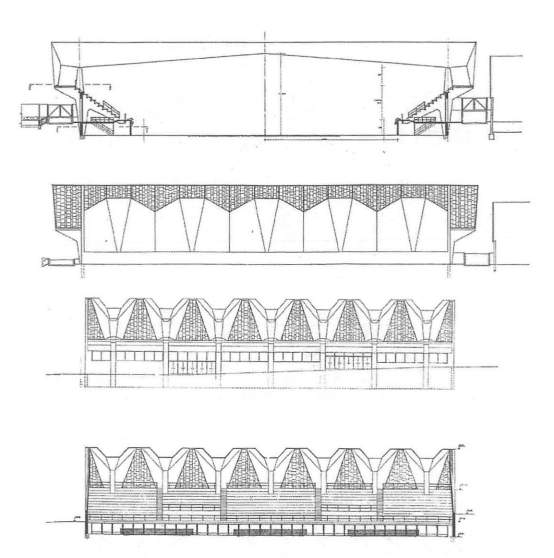


Figura 12
Palacio del Tenis (Azpiazu 1971, 44–5)

De ello se deduce que se trata de una lámina con pliegues contrapuestos y, por tanto, desarrollable, cuya disposición facilita naturalmente la evacuación del agua de lluvia (fig. 13). Como apoyos se construyeron sendos pórticos longitudinales de perfil triangular, desplomados hacia el interior y de sección variable, aumentando ésta hacia el vértice. Se consideró que estos elementos eran suficientes para la rigidización de la lámina. Su cálculo se complica fundamentalmente por la forma de su sección transversal, que es variable. Transversalmente se trató de la forma habitual, considerada como viga continua (Antuña 2002, 204–5). Los cables de pretensado seguían un trazado curvo sobre las placas triangulares con anclajes sobre el canto libre y las limatesas. El resto de la armadura era bastante sencilla con un mallazo uniforme que se plegaba fácilmente al ser la superficie desarrollable.

Es de interés el encofrado, que se hizo:

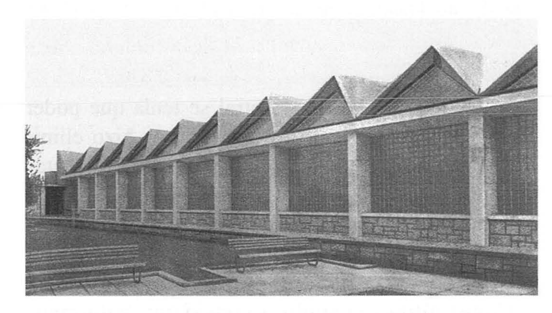
> independiente de los muros de fachada, colocado sobre unas bielas o aparatos provisionales de apoyo. De esta forma, al no existir coacción exterior alguna, la cubierta puede acortarse libremente bajo la acción el esfuerzo de pretensado . . . Una vez fraguado y suficientemente endurecido el hormigón, se efectuó el tesado de esta armadura principal, durante el cual la estructura se despegó, automáticamente, de su encofrado (Torroja 1959)

También es digno de mención que, tras lo anterior, toda la cubierta, pórticos de borde incluidos, se elevara temporalmente con unos gatos para colocar bajo ella unos rodillos metálicos como apoyos definitivos (fig. 14).

Tanto esta lámina como la del Canódromo fueron objeto de análisis complementario mediante modelos a escala realizados con mortero en el Laboratorio de Central de Materiales de Construcción de Madrid dirigido por Carlos de Benito. En ambos casos se llegó a la rotura de los mismos, corroborándose las hipótesis de comportamiento previamente establecidas. Para el Canódromo se hizo también un modelo de plexiglás.

Notas

1. Sobre la cuestión general de las estructuras plegadas realizadas en el ámbito internacional hemos tenido ocasión de exponer recientemente el estado de la cuestión en la conferencia «Dos décadas de estructuras plegadas de hormigón armado: inicio y ocaso de un movimiento», dictada en la Fundación del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid dentro del segundo ciclo del Aula de Historia de la Construcción (21 de febrero de 2007).



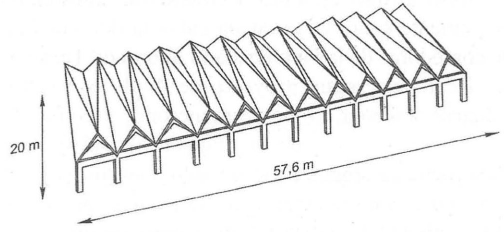


Figura 13
Universidad Laboral de Tarragona (Torroja 1959)

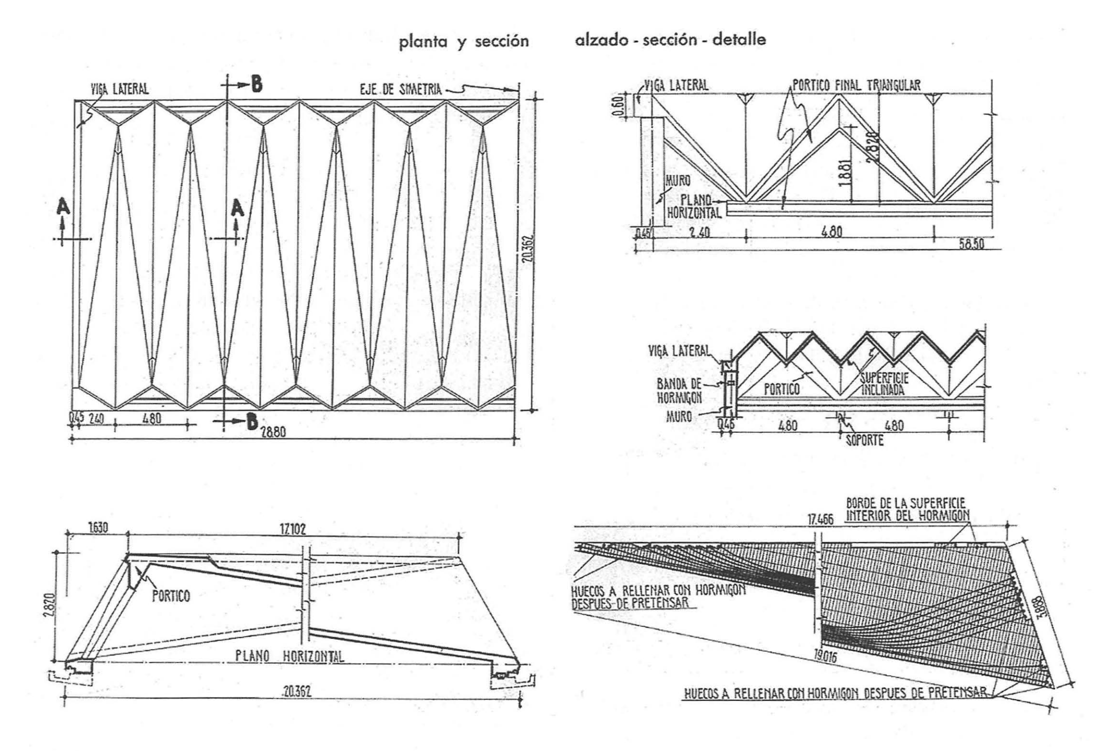


Figura 14
Universidad Laboral de Tarragona. Planos de la lámina (Torroja 1959)

2. Nótese que aunque en la fase de construcción podrían producirse algunos empujes al hormigonar si el encofrado no está suficientemente rigidizado mediante un atirantado u otro sistema de análogo efecto, una vez endurecido el hormigón desaparecen los empujes y la lámina solo proporciona acciones verticales sobre los soportes.
3. A este respecto, y según la opinión de los autores las láminas plegadas «son las más indicadas para emplear en voladizos, ya que se las calcula para soportar esfuerzos de flexión y, por tanto, no suelen fisurarse» (Azpiazu y Cervera 1975, 81).
4. También según los autores, la misma disposición interna de pliegues hace que estas láminas sean «las de mejores condiciones acústicas, siempre que se proyecten racionalmente» (Azpiazu y Cervera 1975, 81)
5. Realizado en colaboración con el arquitecto Pedro Pinto y los ingenieros José Antonio Torroja, Florencio del Pozo y Rafael López Palanco.
6. Existe a veces gran similitud entre determinadas disposiciones de paraboloides hiperbólicos y láminas plegadas, lo que las convierte casi en versiones planas o alabeadas de ideas formales muy semejantes. Esta coincidencia se da especialmente en láminas plegadas con conicidad como es el caso del Canódromo.
7. Esto en efecto coincide con las preferencias del mismo Aspiazu respecto a las cubiertas laminares: «como hormigón pretensado se pueden aumentar mucho las luces; sin embargo el hormigón pretensado lo considero más adecuado para elementos prefabricados que se disponen yuxtapuestos y actúan por separado» (Aspiazu y Cervera 1975, 80). El tensado del Canódromo se realizó directamente sobre las armaduras sin hormigonar mediante casquillos roscados.

Lista de referencias

Antuña, Joaquín. 2002. *Las estructuras de edificación de Eduardo Torroja*. Tesis doctoral ETSAM.

Arqués, Francisco. 1996. *Miguel Fisac*. Madrid: Pronaos.

Azpiazu, José Ramón. 1969. Instituto Sorolla. Valencia (España). *Informes de la Construcción*, 211 (sin paginación).

Azpiazu, José Ramón. 1971. Experiencias adquiridas a través del proyecto arquitectónico, dirección de obra y construcción de cubiertas laminares. *Informes de la Construcción*, 233 (sin paginación).

Azpiazu, José Ramón; Cervera, L. 1975. Trabajos recientes de los arquitectos J. R. Azpiazu y L. Cervera Miralles. *Arquitectura COAM*, 194–95:78–88.

Azpiazu, José Ramón et al. 1962. Canódromo madrileño. *Informes de la Construcción*, 138 (sin paginación).

Cánovas, Andrés ed. 1997. *Fisac, medalla de oro de arquitectura*. Madrid: Ministerio de Fomento; Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España.

Cassinello, Fernando. 1961. Estructuras plegadas. *Informes de la Construcción*, 135 (sin paginación).

Cassinello, Fernando. 1974. Láminas plegadas. En *Construcción. Hormigonería*, 537–542. Madrid: Rueda.

Fernández Cobián, Esteban ed. 2001. *Fray Coello de Portugal, dominico y arquitecto*. Madrid: Fundación Antonio Camuñas; Salamanca: Editorial San Esteban.

Faber, Colin. 1970. *Las estructuras de Félix Candela*. Mexico, España, Argentina, Chile: Compañía editorial continental. (*Candela, Sheel Builder*).

Fisac. 1961. Dos obras de M. Fisac. Laboratorios Alter y Farmabión. *Informes de la Construcción*, 132 (sin paginación).

García, Rafael. 2006a. Concrete folded plates in The Netherlands. *Proceedings of The Second International Congress on Construction History*. Vol. 2: 1189–208.

García, Rafael. 2006b. Estructuras laminares de hormigón en Holanda. *Arquitectura COAM*, 345: 66–75.

Kramer, K. W. 2005. Survey of Prestressed/Post-Tensioned Folded Plate Shells for Roof Structures in the United States: 1950–1970. En *Ned H. Burns Symposium on Historic Innovations in Prestressed Concrete*, editado por Russell, Bruce W. y Gross, Shawn P., Michigan: ACI.

Madrid. 1983. Santuario de Nuestra Señora de Guadalupe. *Guía de Madrid*, Vol 2: 260. Madrid: COAM.

Marín Rodríguez, Mariano. 1962. Estación de servicio en Gijón. *Informes de la Construcción*, 140 (sin paginación).

Pérez Lastra, José Antonio. 1992. *Vaquero Palacios, arquitecto*. Colegio Oficial de Arquitectos de Asturias.

Parme, A. L. L.; Sbarounis, John A. 1961. Una solución directa par alas cubiertas de hormigón en placa delgada. *Informes de la Construcción*, 135 (sin paginación).

Torroja. 1959. Lámina plegada. Universidad Laboral de Tarragona. *Informes de la Construcción*, 107 (sin paginación).

Winter, George y Pei, Minglung. 1947. Hipped Plate Construction. *Journal of American Concrete Institute*, Vol. 18: 505–531.

Frías: representación de la arquitectura y urbanismo medieval en los núcleos de población del norte de Castilla

Juan Carlos García Moreno
Rosa Herrero Cobo

Factores que han condicionado la arquitectura en Frías

El objeto de esta ponencia es analizar los métodos constructivos durante la época medieval, poniendo como ejemplo la localidad de Frías, en la provincia de Burgos. Dicha localidad está situada en la comarca de la Merindades, en el noroeste de la provincia de Burgos, comarca limítrofe con Cantabria, Vizcaya y Álava.

Frías es uno de los lugares más pintorescos e interesantes de la provincia de Burgos y uno de los mejores ejemplos de lo que fue un pueblo medieval. Surgida en la primera época de la república castellana, Frías fue a lo largo de la historia un importante lugar de señorío.

La ciudad está asentada sobre un acantilado rocoso a unos 80 m de altura sobre el nivel del río Ebro, constituido por conglomerado de Toba de gran espesor. El fuerte del nivel existente en la plataforma sobre la que se asienta la ciudad, conocida como La Muela, ha condicionado el trazado de calles, el desarrollo vertical de los edificios y un estético conjunto de casas colgadas que han sabido mantener unos entramados de madera con claro origen medieval (fig. 1).

La arquitectura de esta zona está directamente relacionada con el medio físico sobre el que se asienta siendo las condiciones geográficas, climáticas, naturales y humanas los factores que más directamente influyen sobre ella.

El influjo de la climatología se aprecia sobre todo en la forma de organización de la vivienda, en la orientación de las solanas, en el tamaño de los huecos abiertos al exterior y en la búsqueda de las orientaciones más soleadas y por tanto más cálidas para las estancias vivideras.

Una relación más directa de la arquitectura de Frías con el medio físico puede establecerse a través de los materiales empleados en la construcción, materiales todos ellos procedentes del entorno más próximo.

Otro factor que condiciona el tipo de arquitectura es el factor histórico unido a los condicionantes orográficos. Frías surgió como núcleo militar y defensivo de ahí la elección de una zona muy accidentada para realizar el asentamiento de la ciudad. Por eso la vivienda presenta dos variantes bien distintas según se encuentre en la parte alta o en los arrabales. En el

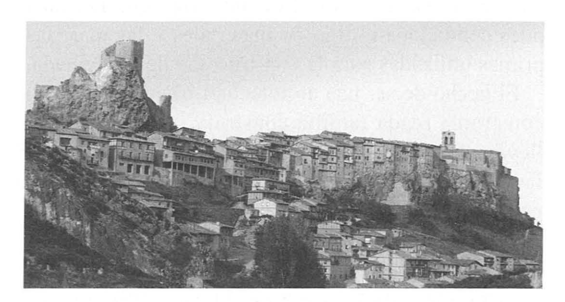


Figura 1
Panorámica de la localidad de Frías (archivo propio)

primer caso, debido al escaso espacio disponible para construir, el desarrollo de la casa en planta estuvo condicionado por una parcelación estrecha y reducida, razón por la cual se desarrolló en vertical pudiendo llegar a los cinco o seis niveles. Es el caso de las casas colgadas, en las que el nivel inferior se destina a bodega, la planta baja a comercio y talleres y las superiores a estancias habitables.

Cuando no existen condicionantes orográficos y se dispone de mayor espacio para el desarrollo en planta de la vivienda, se diferencia entre el edificio principal, destinado a vivienda, y unas pequeñas edificaciones de tipo auxiliar, anejas a él, destinadas a usos agropecuarios y que se emplean como almacenes o cobertizos, leñeras, graneros, etc.

Otro factor condicionante del tipo de vivienda son los tipos de producción. Aparecen estancias o edificaciones específicas para usos no vivideros como es el caso de las cuadras o pajares cuando el modo económico de subsistencia es la agricultura o ganadería. Sin embargo en la época en que Frías fue un importante centro comercial, las casas situadas en la zona próxima al mercado, disponían de soportales que constituían un espacio protegido donde se realizaban los intercambios comerciales, la planta baja de las casas colgadas se utilizaba a modo de taller de artesanía, fabricación y posterior venta de telas y otros productos y los sótanos se utilizaban como bodegas o lagares donde se almacenaba el vino.

Recursos naturales para la construcción. Materiales empleados

El factor que más directamente influye en la arquitectura de una zona es el medio físico que la rodea pues condiciona el tipo de materiales y las materias primas utilizadas para la construcción de la vivienda.

El hecho de ser una arquitectura básicamente auto construida (cada familia construía su propia casa), lleva a la utilización de materiales de construcción fácilmente accesibles, tanto por su situación, como por la facilidad de extracción y moldeo. Por este motivo los materiales procedían de la explotación del medio natural del entorno más cercano.

Los materiales de construcción más utilizados son la madera, la piedra, el barro y la cal. La madera es el material mas empleado debido a la abundancia de bosques en las cercanías de Frías. Los tipos mas utilizados son el roble, haya y olmo. Se emplea sobre todo para la resolución de la estructura, la cubierta y para la formación de fachadas ligeras de entramado de madera. La piedra como material de construcción fue adquiriendo importancia a lo largo de los años, pero desde un principio se impuso como material básico en la construcción la piedra toba, extraída de las canteras cercanas a Frías, por sus características de ligereza y ductilidad, fácil extracción y transporte, y que fundamentalmente se utiliza como material de relleno de paños del entramado de madera (fig. 2).

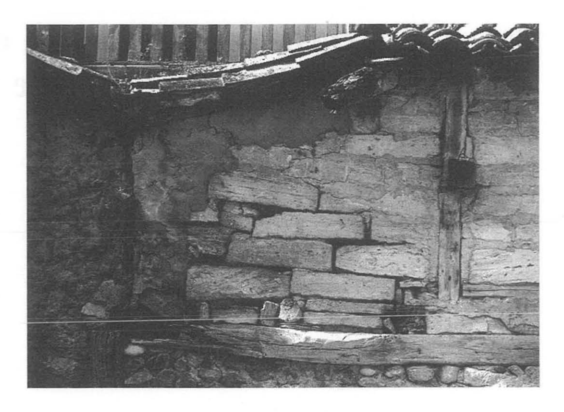


Figura 2
Relleno de los paños de entramado con bloques de toba tratados (archivo propio)

La herramienta utilizada para la extracción de la piedra toba era la sierra. El labrado se realizaba con un hacha, con la que se cortaba el tamaño de bloque adecuado en cada caso (fig. 3).

Las betas más duras y resistentes de estas canteras, son empleadas para muros de sillería o bien para el muro de arranque del entramado. Esta piedra más dura se denomina Berrugón.

Cabe destacar también la utilización de otros materiales, obtenidos a partir de la transformación de las materias primas del entorno, como son los derivados del barro y la cal. Los materiales derivados del barro son los bloques de barro cocido, utilizados como relleno de paños, las tejas curvas cerámicas utilizadas en las cubiertas de la vivienda y las baldosas también de barro cocido utilizadas en suelos. En las caleras, se transformaba la piedra caliza en cal para la fabricación de morteros o pintura.

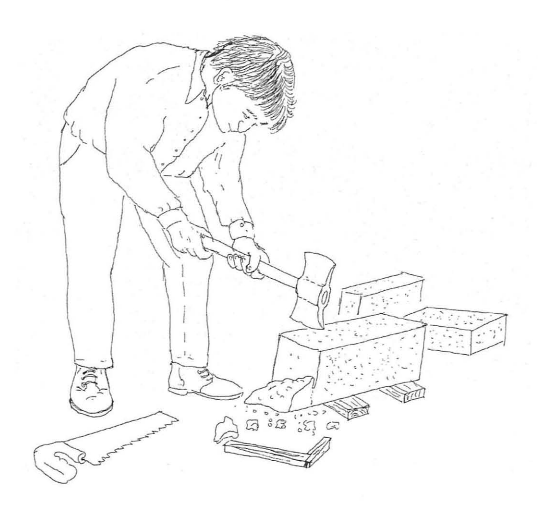


Figura 3
Manipulación de los bloques de toba a pie de obra para su colocación (elaboración propia)



Figura 4
Fachadas de las casas colgadas situadas al borde del roquedo (archivo propio)

TIPOLOGÍA DE LAS VIVIENDAS

Haciendo un breve recorrido por las distintas construcciones que se pueden encontrar en Frías, nos encontramos con una serie de tipologías que son el reflejo de las condiciones geográficas del territorio y de la adaptación de la vida de los habitantes a dichas condiciones físicas. Al mismo tiempo son el resultado de un proceso evolutivo entendido dentro del marco cultural e histórico de la ciudad. Destacamos como tipologías más singulares las siguientes:

Casas colgadas

Uno de los símbolos más característicos de la ciudad de Frías, junto a su castillo, son sus casas colgadas, edificadas sobre la primitiva muralla que servía de defensa a la ciudad (fig. 4).

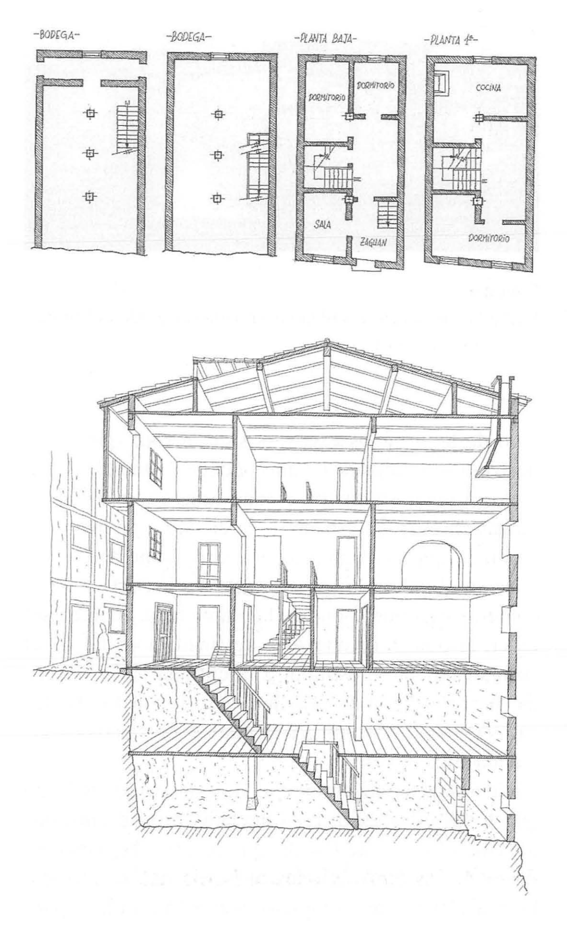
En las viviendas situadas al borde del roquedo, el primer forjado del sótano se apoya sobre la roca, en la que previamente se ha realizado un vaciado cuyas dimensiones se corresponden con la de la vivienda, mientras que el forjado de la planta baja se apoya sobre el suelo a nivel de la calle.

La distribución interna de las viviendas sigue la misma línea del resto de las edificaciones a excepción de los sótanos excavados en la roca que en su mayoría son utilizados como bodega o almacén. Otro factor a tener en cuenta es que estas casas están situadas en el casco urbano de la ciudad y en una época en la que el comercio era muy importante. En ellas se alojaban la mayor parte de los artesanos y comerciantes por lo que en la planta baja, además del taller, disponían de una zona destinada a venta con el correspondiente mostrador a la entrada de la vivienda. A partir del nivel del suelo y en vertical todas las casas cuentan con dos o tres plantas destinadas a vivienda (figs. 5 y 6).

Una característica singular de estas casas es la de que todas ellas están comunicadas por un corredor interior, el Paseo de Ronda, que recorría la planta inferior de las edificaciones al borde del acantilado. Formaba parte del complejo dispositivo militar para la defensa de la ciudad. Disponía de puertas de acceso a cada vivienda para poder estar perfectamente comunicado en cualquier punto. Es posible que los sótanos de alguna vivienda se utilizasen como polvorín o punto de abastecimiento militar (fig. 7).

Casas con solana

Es la tipología más habitual en Frías. La solana aparece como elemento corrido a lo largo de la fachada con parte retranqueada y parte volada, o bien cuando su tamaño es menor, aparecen rehundidas en la fachada. La solana se abre en la planta superior y en las fachadas orientadas al sur para aprovechar al máximo la luz del sol (fig. 8). Puede darse el caso de que aparezca más de una solana en el mismo edificio y en distintas plantas, pudiendo ser ambas del



Figuras 5 y 6
Planta y sección de las casas colgadas (elaboración propia)

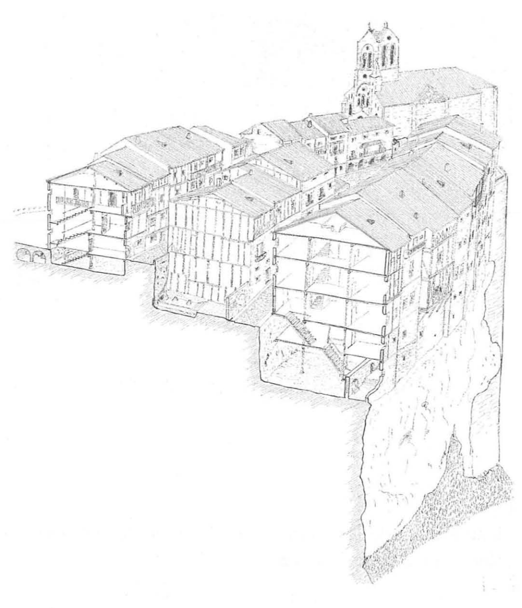


Figura 7
Sección transversal del casco antiguo de Frías (elaboración propia)

mismo tipo o bien balcones más pequeños. En el resto de fachadas se procura que los huecos sean mínimos.

La planta de estas edificaciones es rectangular estrecha y alargada en un ancho de parcela entre los tres y ocho metros y una longitud entre los quince y veinte metros. Como norma general tienen tres plantas. Las casas con solana no se presentan de manera aislada sino que se apoyan unas con otras formando manzanas alargadas (fig. 9).

La estructura principal de las casas con solana es de madera. En el entramado, las solanas voladas se consideran integradas en la estructura general, es decir, que son una prolongación de los elementos interiores. La longitud de vuelo de las solanas dependerá de las vigas empleadas, pero generalmente no suelen volar más de 1 m.

Se pueden observar balconadas repetidas en varias casas, que parecen estar influenciadas por las casas señoriales de la comarca de las Merindades. Éstas tienen las vigas de la solana talladas con formas diversas. Esto lo realizaban las personas que tenían un elevado poder adquisitivo.

Casas con soportales

Las viviendas con soportales no son habituales en Frías dado el escaso espacio disponible para construir, pero existen casos aislados en la plaza donde se realizaba el mercado semanal. El soportal como elemento arquitectónico marca una transición entre lo público y lo privado (calle-vivienda), y proporciona un espacio cubierto pero abierto al exterior, destinado a acoger y albergar los puestos itinerantes del mercado semanal, y a proteger el propio taller-comercio del propietario.



Figura 8
Una de las numerosas casas con solana existentes en Frías (archivo propio)

En esta zona las viviendas suelen tener soportal en la planta baja de la fachada principal soportando el forjado del piso superior de dos formas, bien mediante la línea de pies derechos de madera ayudados por jabalcones apoyados sobre una base de piedra, con lo que se consigue un mayor espacio, o bien mediante soportales formados por arcos de medio punto cuyo aspecto proporciona una mayor continuidad a la fachada de piedra ya desde la planta baja (figs. 10 y 11).

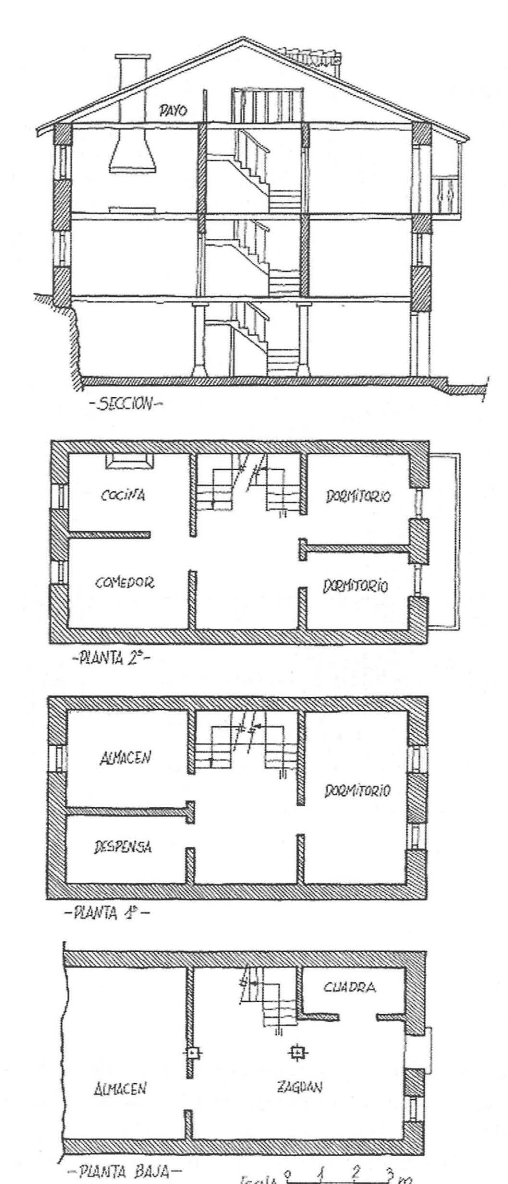
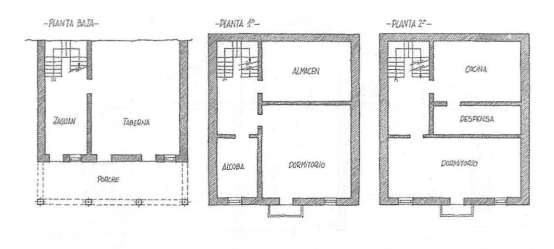
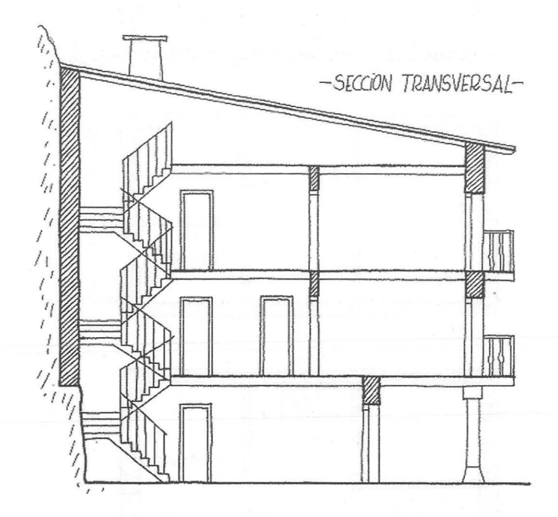


Figura 9
Planta y sección de las casas con solana (elaboración propia)

Casas aisladas

Las casas aisladas están situadas en la parte baja del pueblo y presentan una planta de mayores dimensiones al no existir condicionantes orográficos y disponer de una mayor superficie libre para construir. Lo habitual en este tipo de vivienda son las fábricas de piedra, tanto de sillería como de mampostería en toda la fachada, así como la cubierta a cuatro aguas, teniendo por lo general una solana de pequeñas dimensiones en la última planta.





Figuras 10 y 11
Planta y sección de las casas con soportales (elaboración propia)

Pajares y cuadras

Diseminados a lo largo de todo el pueblo nos encontramos con un tipo muy particular de edificaciones cuyo uso primitivo fue el de granero, trastero, leñera o cuadra, y que en la actualidad o están abandonadas o se utilizan como cocheras, almacén de herramientas, etc. Son los pajares y cuadras, edificaciones auxiliares anejas al edificio principal que constan de dos plantas, la inferior construida con piedras de mampostería y utilizada como cuadra y la superior con un entramado de madera sobre los muros de carga de la planta inferior rellenos de toba, para que las cargas trasmitidas no sean excesivas y cuyo uso era el de almacén de grano y paja.

Edificios especiales

Este tipo de construcciones se engloban dentro de la arquitectura popular no residencial y son los molinos, las ferrerías y las tenerías. Su uso es puramente funcional: aprovechan la energía potencial del agua para realizar la molienda, etc.

Distinguimos dos tipos de molinos: el más sencillo es el que tenía un único espacio donde se ubicaba la maquinaría. Son construcciones de una gran simplicidad donde la puerta de acceso y un pequeño hueco para iluminar y ventilar el interior completan las fachadas. Un segundo tipo de molino más evolucionado es el que tiene aneja la vivienda del molinero, bien como continuación del propio molino, o creando otro cuerpo perpendicular formando una planta en forma de L o T. El cuerpo del molino se dispone sobre el caz, la vivienda en la planta primera y estando destinado el resto de la planta inferior a dependencias auxiliares, como cuadras, pajar, cobertizo para carros, etc.

Características constructivas de las viviendas

Cimentación

La cimentación depende del tipo de vivienda, distinguiéndose entre las viviendas construidas directamente sobre el terreno natural y aquellas en las que previamente a su construcción se realizó un vaciado del terreno (espacio que se destinaba a bodegas) pero dejando muros de la propia roca sin excavar que servirían como medianerías y a la vez como arranque de los pies derechos de la estructura.

Las casas colgadas, están asentadas sobre la propia roca, que antes había sido excavada y vaciada para conseguir una superficie horizontal perfecta, para poder empezar a construir las viviendas y ganar por lo menos dos plantas más que serían las bodegas. Lo que se hizo en primer lugar fue un vaciado de la zona donde se iban a ubicar las viviendas, pero dejando muros de la propia roca sin excavar que servirían como medianería y a la vez como arranque de los pies derechos de la estructura. Los pies derechos aislados, que no iban sobre los muros de roca, se colocaban sobre una base de piedra muy resistente para transmitir las cargas al terreno.

Encima de los muros de roca medianeros se colocaban unos dados de piedra para apoyar los pies derechos sobre ellos. La finalidad de estos elementos es la de evitar que la humedad llegue a la madera, de esta forma el entramado no está apoyado directamente sobre el terreno rocoso.

Las casas colgadas disponen de dos bodegas en sus niveles inferiores. A lo largo del roquedo también se construyó un pasadizo que comunicaba a todas las casas, con un uso militar y defensivo. Esta comunicación se realizó a base de dos muros de carga de mampostería, utilizando bloques de piedra de dimensiones bastante grandes. Sobre estos muros, iba apoyada la estructura de madera a medida que va avanzando la vivienda en vertical.

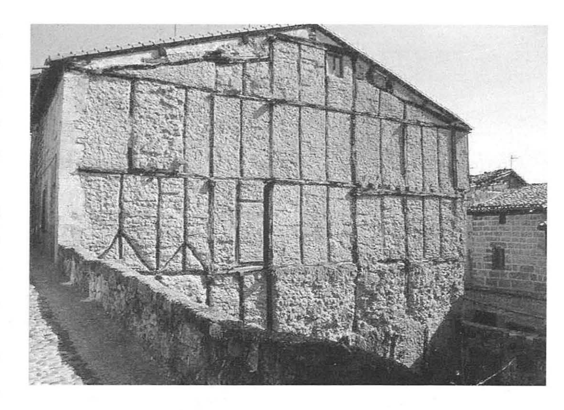


Figura 12
Aspecto de la medianería de una vivienda construida de entramado (archivo propio)

Estructura

El origen de las casas entramadas data del siglo XIV. Como solución arquitectónica supone un notable avance en las formas constructivas porque implican un conocimiento, aunque sea intuitivo, de cargas y esfuerzos que serán soportados por elementos concretos.

Las edificaciones entramadas aparecen en núcleos de cierta importancia porque se requiere una especialización en la mano de obra. Con este tipo de construcciones se alcanza un gran equilibrio entre la solución técnica y el resultado estético. Por un lado se consigue una gran libertad en el diseño, debido a la gran ligereza de las fachadas, pudiéndose alcanzar alturas de cinco o seis plantas y por otro lado se consigue una riqueza espacial en las soluciones pues se pueden abrir fácilmente huecos del tamaño deseado al acoplar, entre los elementos verticales, travesaños horizontales y una carpintería de madera.

En los casos en los que el entramado arranca desde el nivel del suelo se pueden realizar vuelos y galerías retranqueadas, y soportales bien con soportes de madera o columnas de piedra pues la carga de estos muros es inferior a los de mampostería (figs. 12, 13 y 14).

Estas construcciones constan de una estructura portante de madera, tosca o trabajada en escuadrías que se manifiesta exteriormente en las fachadas en una serie de montantes verticales y piezas en diagonal o en forma de Cruz de S. Andrés para arriostrar el conjunto. La estabilidad necesaria se obtiene con los materiales de relleno entre los elementos sustentantes, materiales que pueden ser de ladrillo, barro o piedra toba. Ésta última se utiliza preferentemente en la planta baja.

El forjado es el elemento básico de los techos de planta baja y los techos de las plantas superiores. Podemos encontrar forjados a base de tablas o tablones clavados directamente sobre las vigas y viguetas de forjado, utilizando el roble y el pino como maderas básicas y el castaño o haya en menor medida.

Otro forjado es aquel formado por viguería de madera y relleno de yeso o cal con cascotes menudos enrasados por su parte inferior con las viguetas. Sobre el que se solía colocar un solado de baldosa de barro. Los tabiques se levantan sobre montantes de madera y relleno de adobe. El tipo genérico de la casa entramada tiene tres plantas, un sótano destinado a bodega e incluso dos o tres sótanos en el caso de las casas colgadas.

Fachadas

Las fachadas pueden ser de entramado de madera o de piedra, distinguiéndose en este caso entre las de sillería y mampostería. Las más generalizadas son las de entramado de madera. La fachada de entramado, nace con el propósito de crear edificios de mayor altura, formándose una serie de fachadas que soportan las cargas estructurales con el menor peso, dando al edificio un aspecto armónico y equilibrado.

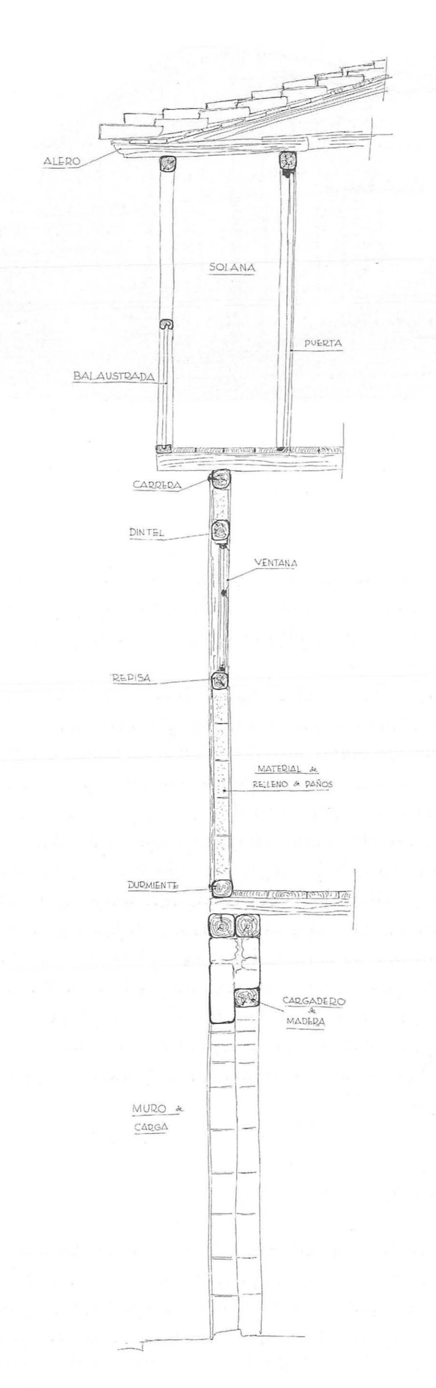


Figura 13
Sección constructiva de la estructura de entramado (elaboración propia)

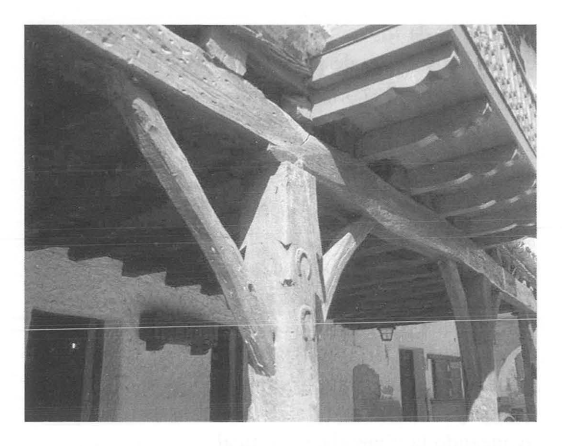


Figura 14
Detalle del apoyo de una viga de madera sobre un pie derecho del mismo material, ayudado por jabalcones (archivo propio)

Generalmente, la fachada de entramado arranca siempre de un muro de carga de mampostería de 60 cm de espesor, que puede llegar hasta la primera o la segunda planta. Sobre el muro de carga se sitúan los durmientes, que cubren todo el espesor del muro, y donde apoyan las viguetas del primer forjado, quedando vistas desde la calle. Sobre éstas, se apoya un elemento de madera llamado solera, que recibe con cargas verticales transmitidas a ella por los pies derechos. Sobre los pies derechos, se apoyan las viguetas del segundo forjado, y así consecutivamente. Este tipo de solución puede dar lugar a la formación de muros esbeltos de 20 a 25 cm de espesor, ganando espacio en los habitáculos interiores. Con este sistema constructivo se resuelven muy fácilmente problemas como realizar una fachada donde vuela la primera planta y consecutivas sobre la línea de arranque, o bien la formación de una solana.

En las fachadas que tienen que salvar mucha altura, como por ejemplo las de las casas colgadas, se observa que en las primeras plantas, también formadas por entramado, los paños son mucho más gruesos y de materiales más resistentes, cumpliendo una labor estructural en igual medida que la estructura de madera. Según la fachada va ganando altura los paños de relleno se van aligerando y es la estructura de madera la que se encarga de absorber todas las cargas.

El relleno de paños se realiza con bloques regulares de piedra toba de dimensiones 25 × 40 × 60 cm

aproximadamente, sentados con morteros de cal y arena o barro. Otra ventaja del entramado es la facilidad para abrir huecos en las fachadas. Los huecos en el entramado se configuran estableciendo un marco de madera previo a base de puentes y tramones que hacen de dintel y jambas respectivamente pudiéndose encontrar nuevos huecos abiertos en el antiguo entramado por la relativa facilidad de ejecución, debido a la flexibilidad del sistema. El entramado, cuando aparece revestido de mortero de barro, cal o yeso, para facilitar la protección de la fábrica, se pica la madera con una azuela para mayor agarre de la pasta.

Las soluciones de entramado favorecen la ejecución de los cuerpos volados cerrados, cuyo vuelo está resuelto por la prolongación de las viguetas o vigas de los forjados, reforzándose con piezas de madera dobles o triples sucesivamente volados. Cuando el vuelo es considerable aparece una serie de jabalcones que descargan sobre la fachada.

Las fachadas de piedra pueden ser a su vez de mampostería, sillería o una combinación de las dos según si la piedra está labrada o no lo está. En las fábricas de mampostería se emplean las piezas de mayor tamaño en las zonas bajas de la casa así como las piezas más regulares en los puntos débiles. Tanto los huecos como las esquinas se conforman con elementos de sillería. La resolución de los huecos en las fachadas de mampostería se realiza utilizando un dintel de madera tanto en puertas como en ventanas. Estos muros son de tres hojas, simplificados en la mayoría de los casos, a un muro de dos hojas. La cara exterior labrada en piezas perfectamente regulares y otra cara interna en la que se colocan algunas piezas medianas y cuya regularidad se consigue con el revestimiento final.

Suelos

Los suelos de la planta baja, más elementales, se constituyen sobre el propio terreno que si es rocoso se labra y adapta y si es terreno arenoso se compacta disponiéndose una capa de mortero de barro. En los establos y cuadras ni siquiera se añade esta capa manteniendo el terreno original pero regularizándolo con picado y relleno posterior. En los zaguanes los pavimentos son más elaborados. Están compuestos por enlosados más o menos irregulares, solados de baldosa de barro sobrepuestos sobre el terreno o un basamento de mortero bruñido más o menos horizontal apoyado sobre un encachado de piedra. Los suelos del resto de plantas pueden estar formadas por un entablonado de madera de roble clavadas sobre las viguetas de los forjados o bien por un pavimento de baldosas de barro cocido sentadas con mortero de cal sobre el entablonado. Este tipo de pavimentos es común en la cocina y en habitaciones o alcobas.

Organización de la vivienda

La organización de la vivienda está condicionada por la parcelación medieval y por la profesión de sus moradores, distinguiéndose habitualmente una zona destinada a vivienda, y otra zona destinada a usos agropecuarios y auxiliares.

El acceso a la planta baja de la vivienda se realiza a través de una entrada única para los animales domésticos y moradores. La puerta de acceso al interior es de madera de roble u olmo sujeta por clavazón y provista de gatera para permitir el acceso libre de estos animales en todo momento.

Si se dispone de un hueco amplio la puerta suele tener una gran hoja o incluso dos, que a su vez presenta una parte central o lateral que se abre solo para el paso de personas quedando fija el resto y abriéndose solo cuando se necesitan introducir elementos de grandes dimensiones. Si el hueco es de menor tamaño la puerta de acceso es de única hoja o de una hoja partida horizontalmente en dos mitades. En otros casos encontramos la puerta entrepañada en la que se inserta en el armazón los entrepaños que pueden disponer de casetones más o menos trabajados.

El edificio de vivienda dispone en la planta baja de un amplio zaguán o portalón. Junto a él también se pueden encontrar algunas estancias destinadas a leñera o almacenamiento de útiles diversos, también para bodegas y en la parte trasera la zona de cuadras.

Desde el zaguán se accede a las plantas superiores, ya destinadas a vivienda propiamente dicha, por una escalera de dos o tres tramos o bien de un solo tramo en las viviendas estrechas y alargadas, y a los niveles inferiores, como las bodegas y lagares, donde se fabricaba y almacenaba el vino blanco txacolí, por una escalera de un único tramo y pendiente superior a la habitual.

Ya en la planta primera se sitúan las habitaciones o salas con alcoba, con un distribuidor central a modo de pasillo. Las habitaciones pueden presentar

una cierta especialización con una sala principal utilizada también de comedor y otras salas menores o alcobas de espacio reducido. Las habitaciones principales suelen estar orientadas a la fachada principal con acceso a la solana y al balcón.

En la última planta se sitúan las estancias vivideras con la cocina como pieza fundamental, la llamada recocina y la despensa. La cocina dispone de un tamaño relativamente amplio y puede ser dividida en cocina y recocina pudiendo servir también como cuarto de estar, comedor, lugar donde se recibe, etc. El punto central de la misma es el hogar, con suelo de piedra, y sobre él una campana troncopiramidal de cierto tamaño que forma la chimenea y a ambos lados los escaños y caponeras, además de las correspondientes alacenas. La recocina es un espacio de trabajo, anejo a la cocina, donde se encuentra la artesa, la pila de piedra y el cenicero donde se deja la ropa a remojo para su blanqueo.

En el último nivel de la casa y bajo la cubierta está el desván o payo que se convierte en el trastero, sirviendo tanto como pajar, granero o almacén de diversos productos y útiles. Teniendo en cuenta que en invierno esta cámara está llena de paja seca se consigue un aislamiento perfecto de la planta inferior.

En lo que se refiere a la cubierta la más característica es la cubierta de madera a dos aguas con los aleros siempre horizontales y paralelos a la línea de fachada. El uso de la madera aporta una serie de ventajas como son la ligereza, pues se disminuyen las cargas transmitidas a la estructura y a la cimentación, y su fácil transporte y manipulación.

Dependiendo del tipo de edificaciones, la formación de la cubierta es distinta. En los edificios de vivienda hay un entablado de madera y una capa de paja o barro bajo las tejas curvas cerámicas, para asegurar un perfecto asentamiento de estas. En el caso de los edificios auxiliares (cuadras, pajares, etc.) no hay entablado de madera y las tejas se asientan directamente sobre ramas de boj seco.

Por otra parte uno de los elementos más característicos en las cubiertas de Frías son las buhardas, pequeños tejados con ventana que sirven para ventilar la parte superior del edificio además de servir como acceso a la cubierta en el caso en que fuera necesaria su reparación.

Conclusión

Con esta ponencia hemos pretendido analizar los tipos y modos de construcción que aún se conservan en nuestros días, de una población que tuvo su mayor auge y esplendor en la época medieval.

Lista de referencias

Cardiñanos Barceló, Inocencio. 1978. *Frías y Medina de Pomar. Historia y Arte*. Frías: Excmo. Ayuntamiento de Frías.

Cardiñanos Barceló, Inocencio. 1986. *El valle de Tobalina*. Burgos: Excmo. Ayuntamiento de Burgos.

Cardiñanos Barceli, Inocencio. 1991. *Frías, ciudad en Castilla*. Frías: Excmo. Ayuntamiento de Frías.

Cea Gutiérrez, Antonio. M. Fernández y L. A. Sánchez. 1990. *Arquitectura popular de España*. Madrid: Programa Etnológico y Etnográfico de España.

García Grinda, José Luis. 1988a. *Arquitectura popular de Burgos*. Burgos: Colegio Oficial de Arquitectos y Arquitectos Técnicos de Burgos.

García Grinda, José Luis. 1988b. *La arquitectura popular castellana en sus tipos básicos. El ejemplo burgalés como encrucijada de influencias*. Barcelona: Anthropas.

García Grinda, José Luis. 1990. *Consideraciones en torno a los estudios y catalogación de la arquitectura popular: las experiencias de Burgos y León*. Salamanca: Junta de Castilla y León.

Les voûtes de João de Castilho au Portugal

Soraya Genin
José Carlos Palacios

João de Castilho, architecte né au pays basque espagnol, est l'auteur des meilleurs exemples d'architecture du gothique final au Portugal. Il est connu pour avoir introduit les nervures courbes, ainsi que pour divers ouvrages qu'il a dirigé, principalement dans le monastère des Hiéronymites à Lisbonne et au couvent du Christ à Tomar.

Nous faisons ici une présentation générale de ses voûtes. Nous nous sommes basés sur des sources bibliographiques et des observations sur place. Nos informations historiques proviennent essentiellement du chapitre que Rafael Moreira (1991), dans sa thèse de doctorat, a dédié à João de Castilho. Moreira n'hésite pas à parler d'un style « castillien » en soulignant la spécificité d'une oeuvre qui a si bien traduit la société de son époque.

Les voûtes du monastère des Hiéronymites et le couvent du Christ de Tomar sont présentées ici plus en détail, puisque nous disposons déjà des données de notre thèse de maîtrise (Monteiro, 1995), et des Projets de Conservation que nous coordonnons sur les voûtes de Jerónimos (Genin, 1999; Genin, 2002; Genin, 2003) et sur le Cloître de l'Aumônerie du couvent de Christ à Tomar (Genin, 2007). Nous avons effectué des levés topographiques et photogrammétriques des voûtes. Nous avons fourni des données et des dessins aux équipes de collaborateurs, à l'entreprise Gabinete de Projectos Barbosa Lourenço, Lda., pour l' étude de stabilité des voûtes par la méthode des éléments finis, ainsi qu'au Laboratoire National d'Ingénierie Civile (LNEC), pour des sondages au radar sur l'extrados des voûtes de Jerónimos.

Cette présentation s'inscrit dans le cadre de notre recherche de doctorat qui est actuellement en cours sur les voûtes de Castilho, financé par une bourse du fond national de la recherche scientifique du Portugal, Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

Premières réalisations

La *Cathédrale de Burgos* constitue une des premières expériences de Castilho, grand chantier de l'époque, sur lequel il a dû travailler avec Simon de Cologne, au moment de la fermeture de la voûte de la *Chapelle du Connétable*, en 1495. C'est ici qu'il prend goût aux nervures courbes —introduites là pour la première fois dans la péninsule. Il se rend ensuite avec Simon de Cologne à la *Cathédrale de Séville*, ce qui lui vaudra son nom de *Juan de Castillo,* nom qui sera repris en 1507 à côté de ceux de Pedro de Trillo, de Juan Garnizo et de Pedro Millan, entre autres, alors que se termine la construction du dôme qui devait s'écrouler quelques années plus tard. En 1508 il est au Portugal, accompagné d'Alonso Rodriguez à Setúbal pour acheter de la pierre destinée à la cathédrale de Séville (Moreira,1991).

Selon les sources, le premier ouvrage de Castilho est le choeur de la *Cathédrale de Braga* (fig. 1), datée de 1509 et considéré comme le premier ouvrage à nervures courbes au Portugal. À en croire certains auteurs



Figure 1
Choeur de la cathédrale de Braga

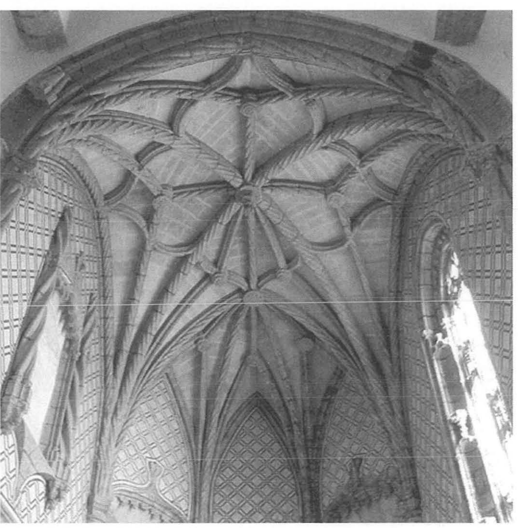


Figure 2
Chœur de l'église de Jésus de Setúbal

et comme on pourrait le penser en comparant les deux voûtes, il est possible qu'il ait participé à la construction du choeur de l'église du *Couvent de Jésus à Setúbal* (fig. 2). Ces deux voûtes possèdent un plan similaire: deux travées, voûtes en étoile et nervures curvilignes au sommet. Dans les travées de plan carré, les arcs s'apparentent à des pleins cintres sur les diagonales et à des ogives au niveau des doubleaux et formerets (comme dans les voûtes à croisée d'ogives). Les nervures courbes sont plus petites et perpendiculaires au sol, comme les clefs. On trouve à Setúbal une claire hiérarchie entre les diagonales, plus grandes, et les liernes et tiercerons, de dimensions moindres. On ne trouve pas à Braga une telle hiérarchie des nervures, qui présentent toutes un même profil, à l'exception des nervures séparant les travées, plus importantes.

En 1511, il signe le contrat pour la construction des nefs, arcs et porte *principale* de *l'église matrice de Vila do Conde.* On dit aussi qu'il est probablement l'auteur de ses voûtes à nervures. Ce sont des voûtes en étoile à quatre pointes. Les voûtes du chœur et des chapelles latérales ont des nervures curvilígnes au sommet, en forme de fleurs et de cercles (fig. 3).

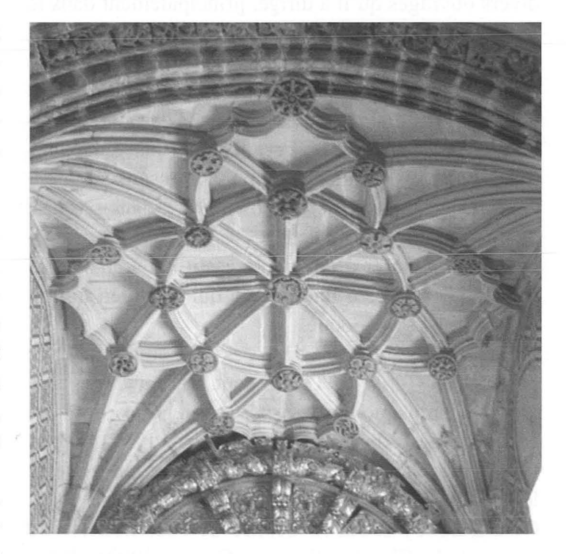


Figure 3
Chapelle de l'église de Vila do Conde

En 1513, il travaille à la *Cathédrale de Viseu,* à la demande de l'évêque Diego Ortriz de Villegas. On lui attribue généralement la voûte sous la tribune de l'entrée (fig. 4*)*. Il s'agit d'une voûte extrêmement surbaissée, aux arcs transversaux en anse de panier presque plats. Les nervures longitudinales s'apparentent à des

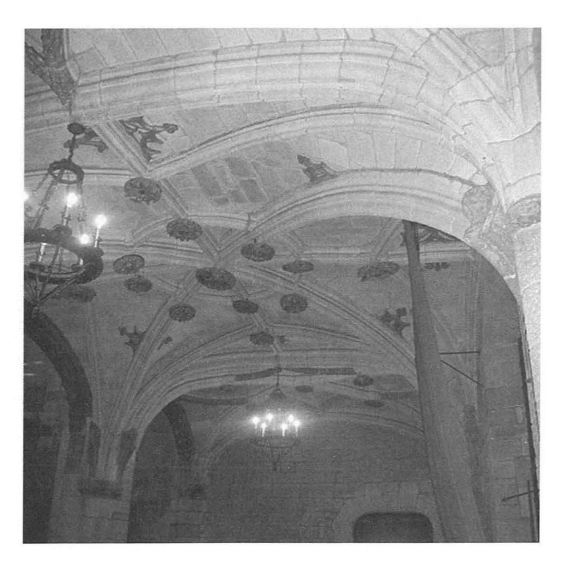


Figure 4
Voûte sous la tribune de la cathédrale de Viseu

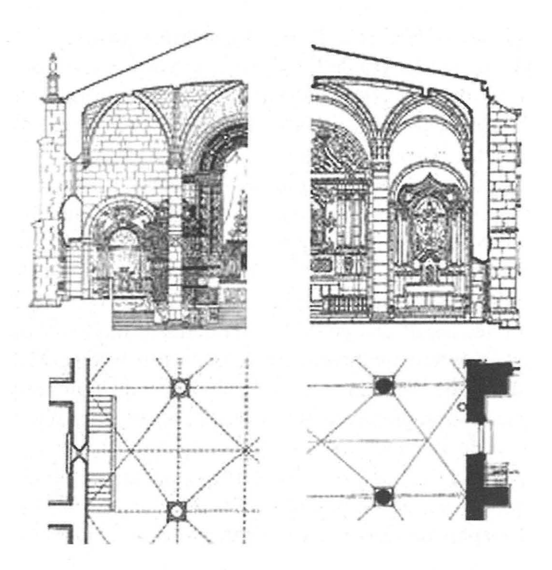


Figure 5
Plans et coupes comparés des nefs à Freixo de Espada-à-Cinta (à gauche) et à Arronches (à droite)

arcs de cercle. Les nervures prennent naissance à des hauteurs différentes et présentent plusieurs profils. Les plus grandes sont celles jouxtant la nef, suivies des diagonales centrales et ensuite des diagonales latérales et des tiercerons et des curvilignes, qui sont décorés.

Les églises-halles de *Freixo de Espada-à-Cinta* et *d'Arronches* sont généralement attribuées à João de Castilho, par comparaison de leur architecture à celle des Hiéronymites à Lisbonne. C'est Mário Tavares Chicó (1954) qui souligne la similitude entre ces trois églises. Mendes Atanázio (1984) suggère qu'elles partagent une « même conscience architectonique». Les deux églises possèdent trois nefs, sur 5 travées dont les diagonales s'apparentent à des pleins cintres et elles possèdent la même forme en berceau, suggérant qu'une seule voûte couvre les trois nefs de ces églises. À *Freixo de Espada-à-Cinta*, les traditionnels doubleaux et formerets sont toujours utilisés alors qu'à *Arronches*, le processus d'unification des nefs franchit un pas supplémentaire en supprimant les formerets. À Freixo de Espada-à-Cinta, les clefs centrales sont reliées par des liernes qui suivent, en le soulignant, l'axe de la voûte en berceau; les doubleaux et des formerets sont plus épais que les diagonales, suivi des liernes (fig. 5). La voûte de l'abside est constituée de liernes et de tiercerons en étoile et de nervures courbes au sommet, similaires à celles de l'église du Jésus de Setúbal et de la cathédrale de Braga. À Arronches, les différences de dimensions entre les nervures sont moins marquées sur la nef. Sous la tribune, les voûtes sont surbaissées et la voûte est en étoile; l'arc doubleau possède le plus grand profil, suivi de la diagonale et de la nervure centrale au sommet.

Œuvres monastiques

À partir de 1515, quand le roi Don Manuel devient son commanditaire, l'activité de João de Castilho est si intense qu'il n'est plus permis de douter de sa capacité de travail. Pendant 13 ans, il partage son temps entre les quatre plus importants chantiers de l'époque. Il est le maître d'œuvre du Couvent du Christ à Tomar, en 1515, du Monastère des Hiéronymites à Lisbonne en 1517, du Monastère d'Alcobaça en 1519 et du Monastère de Batalha en 1528.

Monastères de Alcobaça et de Batalha

En 1519, João de Castilho est nommé maître d'œuvre du Monastère d'Alcobaça. En juillet, il commence

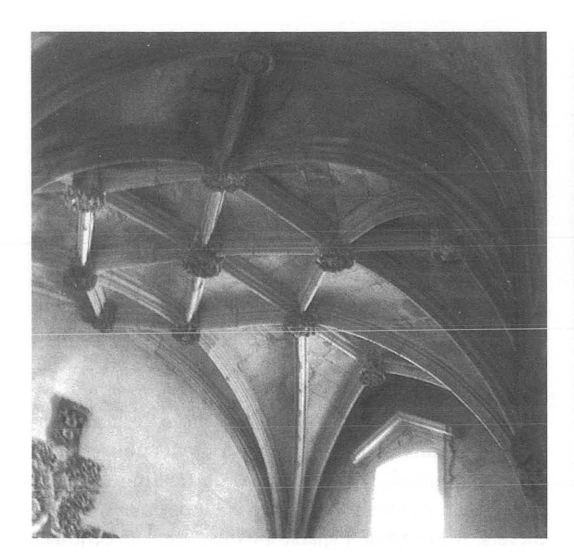


Figure 6
Voûte au monastère de Alcobaça

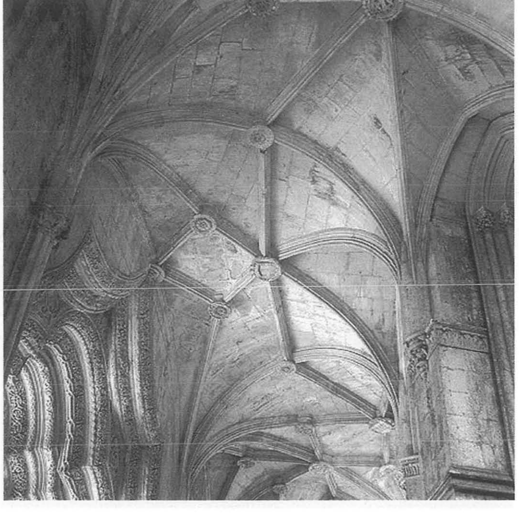


Figure 7
Voûte au monastère de Batalha

les travaux de la sacristie et de la bibliothèque. La voûte de la sacristie se serait effondrée et il ne subsiste que celle de l'accès à l'église. Il s'agit d'une voûte à liernes et à tiercerons, formant un hexagone central (fig. 6). Celui-ci forme un plan surbaissé au sommet, qui recoupe le plan formé par les nervures venant des consoles, un peu à la manière de la nef de Jerónimos. Après 1528, on n'a plus de traces de payements se rapportant aux travaux du monastère de Alcobaça, lorsqu'il est responsable des travaux du monastère de Batalha.

Son intervention à *Batalha* (fig. 7), a dû se limiter au passage entre l'église et les *Chapelles imparfaites*. Ces voûtes présentent une trame de nervures sur différents plans, créant un espace sans travées mais uni par une hauteur constante. Selon Rafael Moreira (1991), les voûtes (inexistantes) des *Chapelles imparfaites* auraient été son grand échec, du fait de la trop grande portée qu'il fallait couvrir.

Monastère des Hiéronymites

Au monastère des Hiéronymites, Castilho sublime le système constructif gothique. On retrouve des payements faits en avril 1516 pour le monastère, dont il est nommé maître d'œuvre de la sacristie en 1517, du cloître et de la porte sud. En 1522, il signe un contrat avec le roi Don João III, pour construire les voûtes et piliers du transept de l'église. Il succède comme maître d'œuvre à Diogo Boytac. Parfois les attributions ne sont pas claires entre les deux, c'est le cas du cloître et de la voûte de la nef.

Le cloître, au niveau du rez-de-chaussée, présente des voûtes en étoiles dont tous les arcs sont surbaissés. Nous avons remarqué une différence entre le côté nord et le reste du cloître, susceptible d'indiquer où finit le travail de Boytac et commence celui de Castilho: les tas de charge de l'avant-dernière travée est et ouest présentent clairement deux détails différents au niveau de l'arrachement des nervures: celles au nord naissent progressivement alors qu'ailleurs elles reposent directement sur la console (fig. 8). Au nord, on trouve la décoration sur les arcs doubleaux, tandis qu'au sud elle est placée sur les diagonales; les clefs sont plus perfectionnées; l'unification des travées est mieux réussie grâce au même plan circulaire continu reproduit par les nervures au départ des consoles. Il s'agit bien ici soit de deux époques soit de deux architectes différents; peut-être Boitaca a-t-il commencé le cloître et Castilho a terminé l'aile nord. *Au premier étage,* on trouve des voûtes en étoiles plus simples. L'ogive est utilisée pour les doubleaux, et le plein cintre pour les diagonales; suite à l'alignement

de toutes les clefs sur une même hauteur, les liernes longitudinales forment une ligne horizontale continue qui unifie les différentes travées en renforçant l'horizontalité du cloître. On retrouve le même détail de la naissance des nervures, qui ressemblent à celles du rez-de-chaussée septentrional du cloître. Le profil des nervures est plus fin qu'à l'étage inférieur et ressemble beaucoup à celui de l'église.

La *sacristie* est en plan carré, avec une colonne centrale d'où partent de fines nervures en arc surbaissé. C'est à peine si l'on peut compter quatre voûtes en étoile tant l'unité domine entre elles, avec des nervures de profils presque égaux qui partent des consoles et de la colonne centrale, et des fines nervures courbes qui se répètent à chaque travée et relient les clefs au sommet de la voûte. Les nervures se recoupent au niveau du tas de charge et naissent à des hauteurs différentes. Sur les consoles, la décoration tend à se fondre avec l'arrachement des nervures (fig. 8).

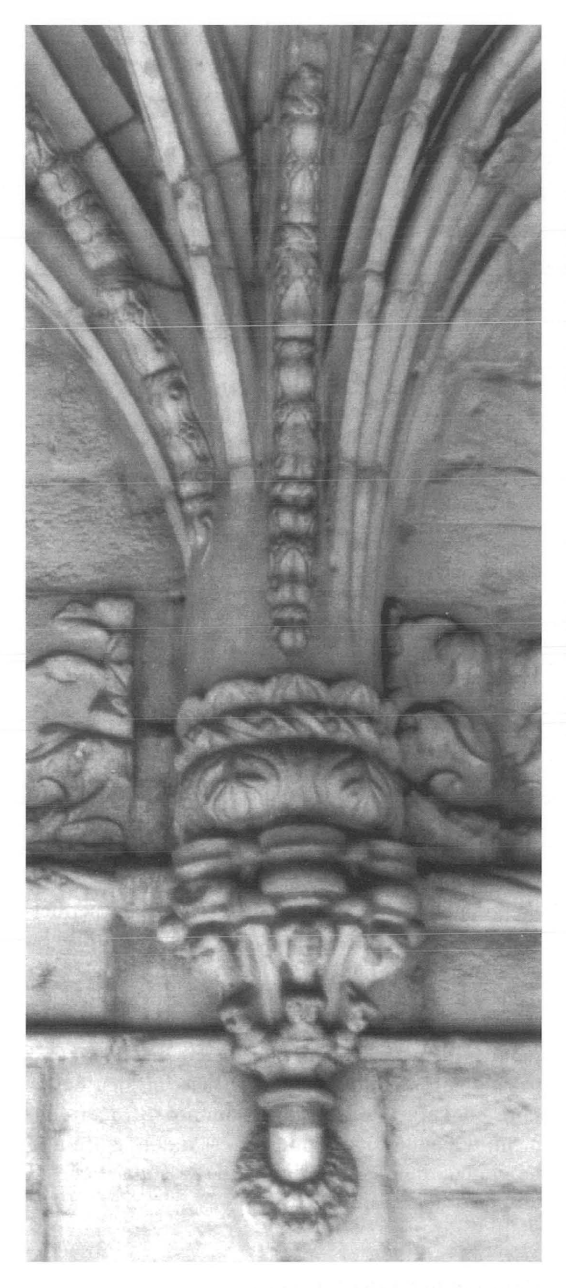
La comparaison de la nef avec le transept nous amène à attribuer la voûte de la nef également à João de Castilho (Monteiro, 1995). Ces deux voûtes répondent très certainement à un même plan initial. Les nervures et les clefs, de la nef et du transept, présentent parfois des profils identiques. Le *transept* de Jerónimos possède une voûte de 18,60 mètres sans appui intermédiaire. Il ne s'agit pas d'une voûte en berceau, comme pourraient le faire croire les deux arcs doubleaux reliant les colonnes de la nef aux murs. Il s'agit sans doute là d'un impératif dicté par la grande portée à couvrir. La voûte a été réalisée au moyen d'une profusion de nervures de profil plus ou moins identique. Ce réseau de nervures donne forme à la voûte par un tracé géométrique complexe. Toutes les nervures sont verticales, sauf celles formant des cercles, qui sont perpendiculaires à la voûte. Elles naissent à des hauteurs différentes.

La transition entre le transept et la nef est parfaite: on remarquera les carrés centraux de la nef, dont le dernier est remplacé par un demi cercle, cercle dont on retrouve l'autre moitié dans le transept. Dans le transept, les arcs formerets possèdent le même rayon que les arcs en ogive des collatéraux de la nef. Dans la nef, les nervures courbes sont situées à l'intersection des reins des colonnes avec la voûte. Elles sont plus fines et dessinent des figures géométriques (octogones, carrés et losanges) sur le berceau. Elles séparent le plan de la voûte et les voûtains qui naissent au-dessus des colonnes. Les octogones et les carrés centraux sont créés par des nervures de même courbure mais ils ne relèvent pas d'une structure cupulaire comme on pourrait le penser. Les voussoirs sont en effet tous concaves entre les nervures et les voûtains sont caractérisés par une double courbure (observation stéréoscopique). Les nervures de la nef ne présentent que deux profils de tailles différentes. On retrouve les nervures droites au niveau des reins et du sommet. Celles-ci se croisent au centre de leurs axes et des travées. La voûte de la nef a été conçue en éliminant des lignes parallèles et perpendiculaires aux murs. Aucune nervure n'effectue ainsi de liaison directe entre points d'appui. Les arcs traditionnels sont ici dédoublés et forment des triangles (figs. 9 et 13).

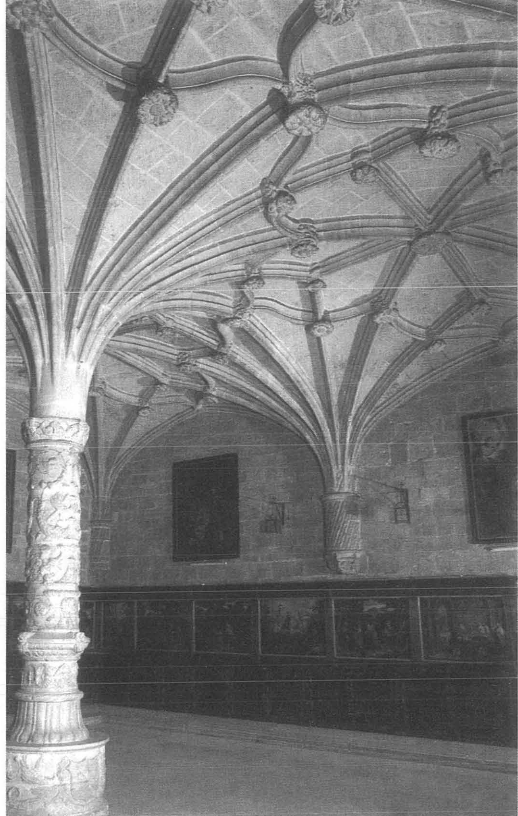
Comme le dit *Viollet-le-Duc* (1854–1868): « Quelle que soit la figure en plan de la surface à couvrir, le problème à résoudre est toujours celui-ci: 1°) faire en sorte que cette surface soit divisée par les arcs diagonaux de manière à présenter une suite de triangles, car, avec ce système de voûte, on ne peut couvrir que des triangles; 2°) disposer les arcs diagonaux ou ogives de telle façon que ces arcs se contrebutent à leur sommet, et que l'un d'eux ou plusieurs d'entre eux réunis ne puissent presser sur les autres de manière à les déformer». Nous avons en effet un système de triangles. La seule différence est que ce sont des triangles qui se contrebutent et non pas les traditionnels arcs doubleaux, formerets ou ogives. La multiplication des triangles forme un berceau qui normalement serait engendrée par la translation de l'arc doubleau. Ce système de triangulation permettant d'obtenir une forme précise est encore utilisé de nos jours. Mainstone (1995), qui a fait ce raisonnement, remarque que l'objectif principal est d'obtenir une régularité et une uniformité maximales en utilisant des éléments plus ou moins de même portée distribués uniformément sur la surface, au lieu de les faire converger tous vers le sommet. Structurellement, il s'agit d'une forme qui est rigide, grâce à sa propre courbure et à la rigidité de sa surface constituée de triangles.

Couvent du Christ à Tomar

Le Couvent du Christ de Tomar fut la grande œuvre de Castilho. Cet ensemble monumental peut lui être attribué en plus grande partie. Chef-d'œuvre de la Renaissance portugaise, ce nouveau couvent s'étend

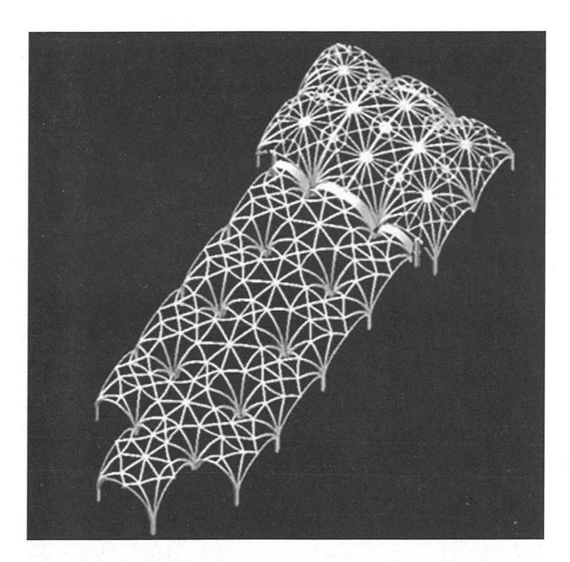


Figures 8 et 9
Voûtes du monastère de Jerónimos:
a. Tas de charge sur cul de lampe au rez-de-chaussée du cloître, montrant deux phases /architectes distincts
b. sacristie
c. représentation 3D de la nef et du transept (Genin, 2002)



Figures 8b

à l'ouest du château primitif et de la Rotonde des Templiers, transformée en choeur de l'église sur un projet de Diogo de Arruda (1510–1515). À partir de 1515, Castilho dirige les travaux. Il réalise le portail principal de l'église, l'arche d'accès au déambulatoire, les voûtes de la nef et de la tribune, et la salle du chapitre. On doit à Castilho les cinq cloîtres à l'ouest de l'église. Entre 1530 et 1532 il termine le grand cloître —qui sera ultérieurement partiellement démoli—, il bâtit des dortoirs et autres installations autour du «petit cloître» de Santa Barbara. En 1542 il interrompt les travaux pour construire la forteresse de Mazagão. En 1548, on sait qu'il fallait encore dresser des portes et fenêtres dans les cellules des collégiens et des plafonds en bois à l'étage du dortoir des frères. En 1551 la cuisine et la maison des novices étaient



Figures 9

en travaux, on carrelait la réserve et la terrasse de l'étage du dortoir au-dessus des cellules des collégiens et au-dessus de la librairie, la terrasse de l'infirmerie était presque achevée (Sá, 1999).

Les voûtes en briques sont les plus fréquentes à Tomar. Tous les plafonds sont surbaissés, en anse de panier. Le cloître de Santa Barbara et certaines autres salles rectangulaires possèdent des nervures diagonales entre les appuis et des arcs doubleaux au profil surbaissé en anse de panier. Dans les cloîtres de l'Aumônerie, Corvos et Micha, il n'y a pas de diagonales ni d'arcs doubleaux. On trouve des nervures croisées entre les appuis et l'axe de chaque travée, qui forment un losange central pratiquement horizontal (fig. 15). Des salles carrées recourent tantôt à des piliers centraux (p.ex. la cuisine), tantôt non, comme par exemple l'antichambre de la salle du chapitre dans laquelle on observe un grand carré central à son sommet, délimité par des nervures reliant chaque paire de consoles. La salle du chapitre possédait également une voûte surbaissée, qui couvrait une portée supérieure et qui se serait écroulée précisément pour cette raison. Ici il est possible d'observer des détails de la voûte: des nervures en pierre avec queue, appuyées sur des consoles, soutiennent la voûte en briques disposées en rangées perpendiculaires aux murs; sur la voûte on trouve de la maçonnerie ordinaire, sur laquelle est posé le carrelage céramique de l'étage (fig. 10 a). Des voûtes en berceau présentent des caissons de style Renaissance; le réfectoire présente encore quant à lui un mode de construction gothique (fig. 10 b).

On ne trouve que peu d'exemples de voûtes en pierre à Tomar. La voûte de l'église est composée de trois travées, dont deux sont en plan carré et une en plan rectangulaire; les nervures diagonales sont apparemment en plein cintre et les doubleaux et les formerets en ogive. Les liernes et les tiercerons dessinent des étoiles à quatre pointes. Au sommet, on trouve des nervures courbes affectant des formes végétales, typiques du style manuélin (fig. 10 c). Les voûtes reposent sur des consoles qui sont reliées par un bandeau identique à celui qu'on trouve à Jerónimos, avec les fleurs caractéristiques de João de Castilho, comme l'a fait remarquer Maria Ealo de Sá, fleurs qu'on retrouve sur le portail de l'église (information orale). Dans l'escalier de la partie réservée aux novices, la voûte est parfaitement plate reposant sur des espèces de poutres imitant un plafond en bois.

On retrouve dans les deux derniers étages, des plafonds en bois, dans les cloîtres, couloirs et salles. On notera le style Renaissance flagrant du plafond de la chapelle des Rois Mages. Celle-ci adopte un plan symétrique et central, composé de caissons en bois.

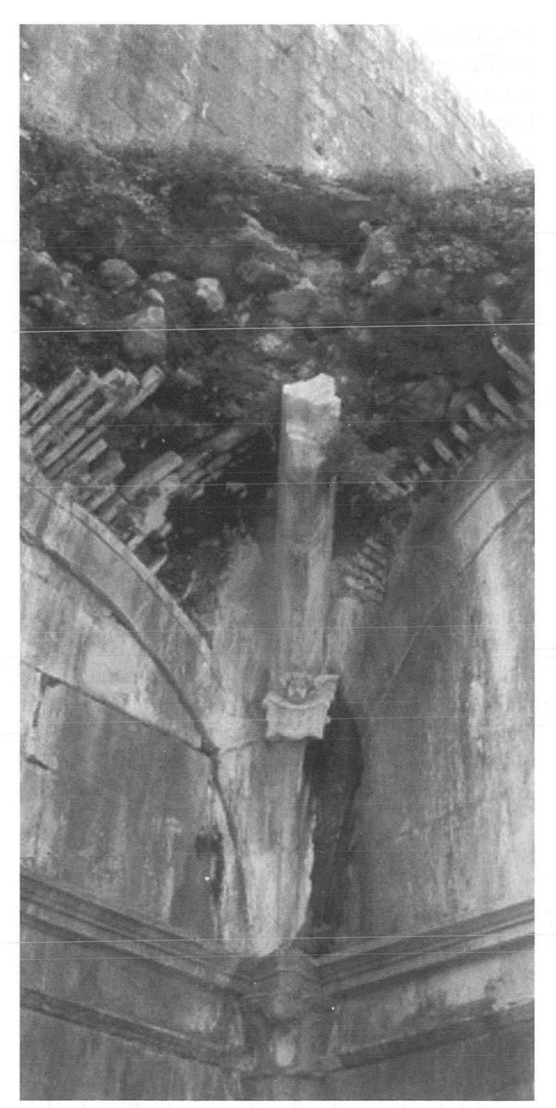
Chapelle Nossa Senhora da Conceição

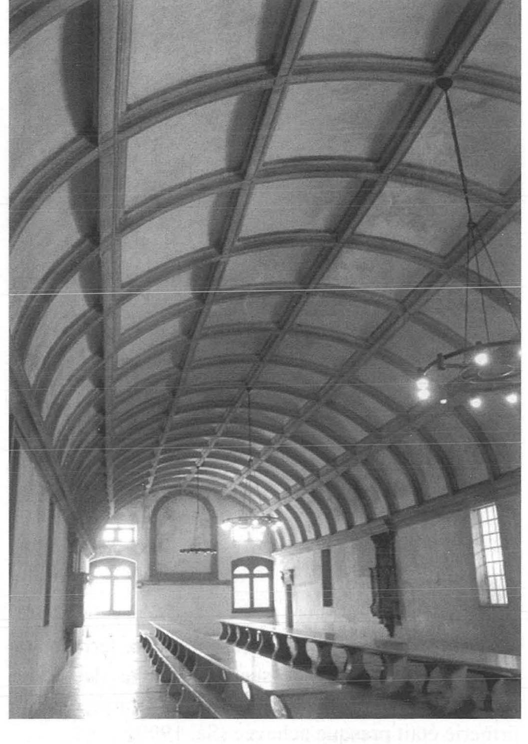
Dans cette chapelle, sa dernière œuvre, João de Castilho abandonne la technique de construction gothique qui recourt aux nervures. Les voûtes sont ici exécutées en pierre de taille, technique de la Renaissance. L'ouvrage présente des voûtes en berceau et en coupole, composées de caissons. On remarquera cependant encore la marque des arcs doubleaux dans la nef et des diagonales dans la coupole. Dans le choeur, une voûte en cul-de-four (fig. 11). Nous savons que le projet est de Castilho, bien qu'il ait été achevé par Diogo Torralva et Filipe Terzi (Sá 1999).

Relevés et sondages

Église de Freixo de Espada-à-Cinta

À Freixo de Espada-à-Cinta, nous avons pu observer de près la voûte du chœur, actuellement en travaux





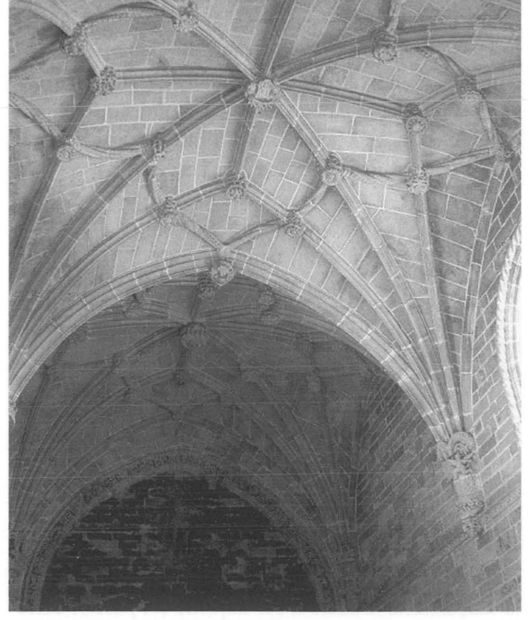


Figure 10
Voûtes du couvent du Christ à Tomar: (à gauche) Détail constructif de la voûte de la salle du chapitre, avec nervure et en maçonnerie de briques; (au centre) voûte en berceau du réfectoire; (à droite) voûte de la nef et tribune de l'église

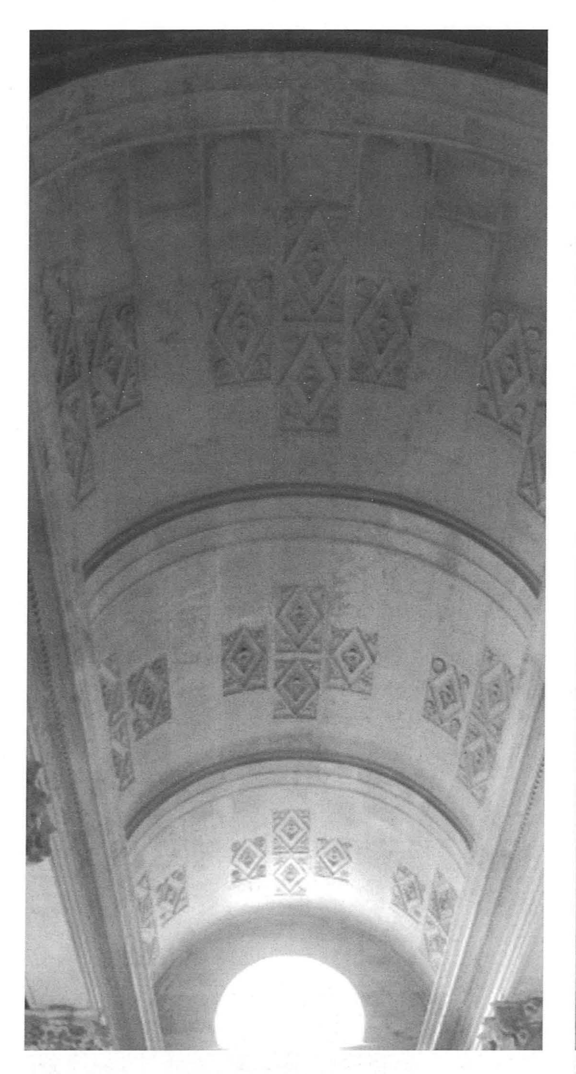



Figure 11
Voûtes de la nef (à gauche) et du chœur (à droite) de la chapelle de Nossa Senhora da Conceição

dirigés par l'Institut Portugais du Patrimoine Architectural (IPPAR): les queues des nervures courbes sont sur le même plan que l'extrados des voûtains qui sont d'une épaisseur variant entre 0,10m et 0,12m (fig. 12); les nervures droites en plan (diagonales et tiercerons) n'étaient pas visibles depuis l'extrados. Le remplissage des reins de la voûte est constitué de pierres maçonnées recouvertes d'une couche de mortier.

Église du Couvent des Hiéronymites

Plusieurs données ont récemment été publiées. Nous en rappellerons ici les aspects essentiels permettant d'en comprendre la construction, principalement des résultats de l'analyse de l'extrados.

Les tuiles de l' église ont été partiellement retirées afin de permettre d'accéder à l'extrados sur un module de la nef et des rangées représentatives du transept. Un

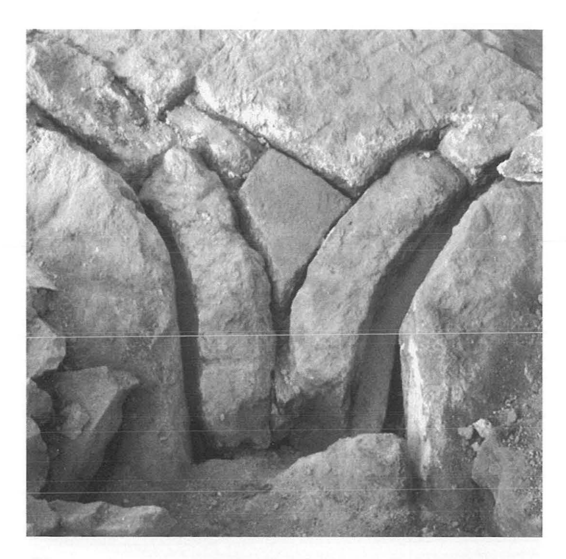


Figure 12
Extrados de la voûte du chœur de l'église de Freixo de Espada-à-Cinta: la queue des nervures courbes est au même niveau que l'extrados des voûtains

modèle tridimensionnel de la nef et du transept a été dessiné, ainsi que des plans et des profils définissant les épaisseurs de la voûte. Une fois les tuiles enlevées, nous avons fait procéder à des essais non destructifs, par sondages au radar et au détecteur de métal, et à des analyses des matériaux constituant le recouvrement des voûtes. Les forages de sondages n'ont porté que sur le matériau de remplissage. Les résultats ont montré que, au niveau du transept, la voûte présente des épaisseurs variables de 0,16m à 0,24m. Dans la nef, la voûte présente une épaisseur minimale de 0,14m au sommet et les voussoirs mesurent en moyenne 0,09m d'épaisseur (entre 0,08 et 0,10m); au niveau des colonnes, le radar a détecté une zone de réflexion, signalant probablement le remplissage des reins, à une hauteur variant de 0,35 et 0,40 depuis l'extrados. La détection de crampons métalliques n'a rien donné, bien que certaines sources aient établi qu'ils ont été utilisés pour solidariser les douelles des nervures. Deux trous de sondage ont été ouverts sur les nervures. L'extrados de la nervure courbe présente un profil de pose des voussoirs plus accentué (du même type que sur le choeur de l'église de Freixo de Espada-à Cinta) que la nervure droite en plan (fig. 14). Quant à

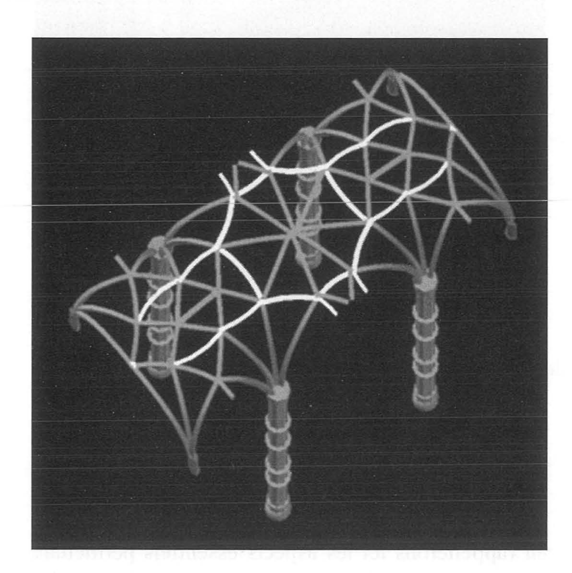


Figure 13
Représentation 3D de la travée de la nef de l'église des Hiéronymites: les nervures courbes au sommet, soulignent les figures géométriques et les lignes d'intersections de la voûte (Genin, 2002)

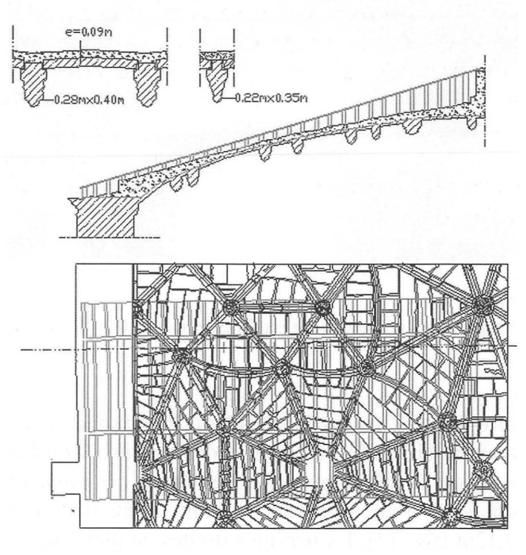


Figure 14
Plan d'un module d'une demi-travée (intrados et extrados superposés), coupe et détail des nervures (droites à gauche et courbes à droite) et des voussoirs de la nef (Genin, 2002)

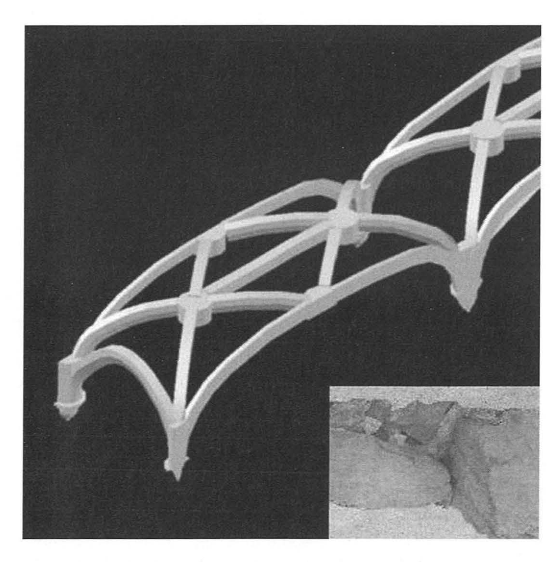


Figure 15
Représentation 3D d'une travée du cloître de l'Aumônerie de Tomar et détail de la voûte (Genin, 2007)

la structure, les données recueillies grâce à l'étude de la stabilité par les éléments finis ont confirmé les résultats des relevés effectués pour notre thèse de maîtrise: la voûte de la nef se comporte comme une voûte à trois nefs classique (écartement des colonnes vers l'extérieur), bien que son profil transversal fasse penser à une voûte en berceau.

Cloître Hospitalier du Couvent du Christ à Tomar

Le Cloître Hospitalier est composé de quatre ailes distinctes quant à leurs dimensions, en plan comme en hauteur. Les deux ailes que nous avons étudiées, au nord et à l'ouest, sont d'une largeur d'environ 3,16m et de 2,00 m. Elles sont délimitées d'un côté par des murs épais en maçonnerie mixte et de l'autre par des colonnes d'un diamètre d'environ 0,40m alternées avec des piliers/contreforts, tous reliés par des arcs en plein cintre. Deux forages d'inspection du cloître, dans l'aile ouest et dans l'aile nord, ont permis de procéder à une inspection par caméra boroscopique. Les mesures ont relevé des épaisseurs de 0,39m à l'ouest et de 0,20m au nord. Les voûtes sont constituées de briques maçonnées d'environ $0.27 \times 0.13 \times 0.04$ m^3 et de joint au mortier de chaux d'en moyenne 2 à 3 cm d'épaisseur. Le relevé a confirmé la forme des voûtes en berceau surbaissé d'arcs en anse de panier. Un losange se dessine au sommet, dont les nervures des bords sont courbes, mais quasiment au même niveau. Les nervures se croisent dans leur naissance et se dégagent ensuite à des hauteurs différentes. Leurs extrados est sur le même plan que les voûtes (fig. 15). Pour cette raison les nervures ne participent que peu à la structure. Les conclusions de l' étude de la stabilité ont apporté que le comportement de la voûte du cloître s'apparente à celle d'une voûte en berceau, sauf à ses extrémités. La voûte de l'aile nord, plus fine et couvrant une plus grande portée, est la plus fragile. Du point de vue structurel, l'influence des nervures est limitée: elles ne contribuent que pour 4% à la rigidité de la voûte et ne réduisent que légèrement les contraintes auxquelles celle-ci est soumise.

Conclusions

Les voûtes en pierre attribuées à João de Castilho sont des voûtes à nervures caractéristiques du gothique final, affectant normalement une forme étoilée. Souvent les diagonales ont une forme d'arc en plein cintre, et les doubleaux une forme d'arc en ogive, comme dans les croisées d'ogives. João de Castilho possède cette remarquable capacité d'obtenir une forme en se servant de triangles qu'il multiplie de manière à unifier l'espace de manière exceptionnelle, en supprimant les traditionnels doubleaux, formerets et diagonales. La triangulation simplifie la construction de la voûte et la pose des voussoirs.

Castilho utilise les nervures courbes de deux manières différentes: soit il les met sur le même plan que les diagonales et les tiercerons, soit il s'en sert pour délimiter de nouveaux plans surbaissées au sommet de la voûte (v. nef de Jerónimos). Par ailleurs, nous avons vu à Freixo de Espada-à-Cinta et à Jerónimos que, à l'extrados, ces nervures courbes sont sur le même plan que les douelles des voûtains. Par conséquent, leur hauteur de queue est égale à l'épaisseur des voûtains. Les nervures courbes étaient probablement mises en œuvre en même temps que les voûtains. On pourrait donc en déduire qu'elles ne sont pas tant des nervures que des voûtains. En effet, à Jerónimos, les nervures droites (en plan) sont plus basses que le plan de l'extrados; elles servent à la

pose des voussoirs. Dans les deux églises, les voûtains sont fins (environ 0,9m et 0,12m respectivement). À Jerónimos, pour autant que nous ayons pu le constater, tous les voussoirs sont concaves.

Dans le Couvent du Christ, Castilho a surtout construit des voûtes en briques en berceau surbaissé, avec des arcs en anse de panier. L'influence de la Renaissance se fait également sentir, avec des berceaux en caissons. Toutefois, cette forme est obtenue par des techniques gothiques, les nervures délimitant alors les caissons. Dans son dernier ouvrage cependant, la chapelle *Nossa Senhora da Conceição*, la nervure est abolie et remplacée par une voûte en pierre de taille, typiquement renaissante.

Liste de reférences

Atanázio, M.C. Mendes. 1984. *A Arte do Manuelino*. Lisbonne: Editorial Presença.

Chicó, Mário Tavares et Novais, Mário. 1954. *A Arquitectura Gótica em Portugal*. Lisbonne.

Genin, Soraya. 1999. *Mosteiro dos Jerónimos, Projecto de conservação e consolidação do tecto da igreja-Análise de materiais e patologias*. Rapport pour le compte de l'IPPAR. Lisbonne.

Genin, Soraya. 2002. *Mosteiro dos Jerónimos, Projecto de consolidação das abóbadas da igreja*. Plans dressés pour le compte de l'IPPAR. Lisbonne.

Genin, Soraya. 2003. *Mosteiro dos Jerónimos, Conservação e consolidação do tecto da igreja*. Rapport pour le compte de l'IPPAR. Lisbonne.

Genin, Soraya. 2006. *Convento de Cristo, Tomar. Estudo de patologias e estabilidade, e Projecto de consolidação das abóbadas do claustro da Hospedaria e salas adjacentes*. Rapport pour le compte de l'IPPAR. Lisbonne.

Mainstone, R. 1975. *Developments in structural Form*, Cambridge, Mass..

Monteiro, Soraya. 1995. *Étude descriptive de la voûte de l'église du monastère de Santa Maria de Belém à Lisbonne*. Thèse de maîtrise en Conservation du Patrimoine Architectural et Urbain. Belgique: Katholieke Universiteit Leuven.

Moreira, Rafael. 1991. *A Arquitectura do Renascimento no Sul de Portugal. A Encomenda Régia entre o Moderno e o Romano*. Thèse de doctorat en Histoire de l'Art. Lisbonne. Universidade Nova de Lisboa.

Viollet Le-Duc, Eugéne-Emmanuel. 1854–1868. *Dictionnaire raisonné de l'architecture francaise du XIème au XVème siècle*. Paris: F. de Nobele.

Sá, Maria Ealo de. 1992. *El Arquitecto Juan de Castillo, Documentos históricos*. Vol. II. Merindad de Trasmiera.

Traditional building techniques: the metrological-chronological analysis of XVIth century yellow tuff masonries in Terra di Lavoro (Campania, Italy)

Caterina Giannattasio

The state of the art

Grounded on the state of the art in the field of traditional building techniques studies, this contribution aims at showing the results of the inventory and analysis of the XVIth century Terra di Lavoro tuff masonries. Structural aspects and executive modalities for their setting up are presented.

The method adopted has been already applied in several case studies. In details, this kind of approach, imported by the medieval archaeology, with the stratigraphical definition of elevation structures,[1] has been tested in the last twenty years in Italy, producing interesting results with reference to limited territorial ambits, concerning modern and contemporary age constructions.[2] It represents a reliable tool for ancient edifices chronological definition, and helping in their conservation management especially for the so called «minor» architectures, whose cultural meaning is often unrecognised. This identification is very important nowadays, because of the enlargement of «monument» notion, that includes both instances of historical-artistical significance, and traditional urban fabric.

With specific reference to Campania, in the last decade many metrological-chronological studies have been carried out, pertaining to traditional building techniques used between the XVth and the XIXth century (masonries, floors, roofing, window frames, iron elements). They deal with: a) post-medieval architectures of Naples historical centre; b) d'Angiò, Aragon and modern Age manufactures in Terra di Lavoro; c) those of the late Middle Age in Amalfi Coast; d) those of the XVIIIth century in Benevento.[3] Indeed, in spite of the efforts made up so far, in Terra di Lavoro there is no systematic catalogue of the traditional solutions applied during the XVIth century by the local builders.

The methodology adopted

On the basis of these above mentioned studies, the approach used for the chronological definition of the XVIth century masonries, applied to the homogeneous constructive area of Terra di Lavoro —now corresponding to the Campania plain area, around the Caserta district— is founded on the analysis of the relevant literature regarding building materials (geo-morphological characteristics literature; history of architecture essays; local architectural practical treaties) and of archive sources (masonries masters guilds statutes; notarial acts for the creation of noble or religious edifices, such as private and suppressed monasteries archives).

In details, the study started with the inspection of the sources held in National archives of all the region, never systematically investigated till now, regarding the edifices put up between Middle Ages and Renaissance. From this consultation emerged a copious number of documents referring to the relevant period, so it was necessary to limit the study-area. The choice

fell back on Terra di Lavoro area, not studied at that time, selecting some centres, interesting in terms of documents, and of the persistence of ancient architectures. Among them, Sessa Aurunca is very remarkable,[4] characterised by a XVth-XVIth century architectural heritage, with many examples of «minor» buildings. Hence, the study consisted in the consultation of notarial acts conserved in the State Archive of Caserta, including sell contracts, marriage contracts, etc., in which often there is the description of the properties, of the typological scheme, and, rarely, of constructive techniques.

By this way, it has been possible to date and to individuate, in Sessa's historical centre, the manufactures mentioned in those acts, and to analyse their technological characteristics, relating them to the age in which they were used.

A systematic sampling has allowed to identify the peculiarities of XVIth century Terra di Lavoro walls. In this sense, the drawing has been very useful, illustrating metrological and morphological characters of investigated vertical *septa*.

In short, the research has gone on with:

- the individuation of architectural elements philologically dated;
- the check of documentary information consistency, through the stratigraphical analysis of material local context;
- the editing of catalogue files, completed with architectural, metrical, materical and photographical surveys.

The metrological classification of elements has been accompanied by the geo-lithological and metrological characterisation of stones, the manufacturing, the basic components of mortar, the type of masonry faces. By this way, chronological series of traditional building structural and finishing solutions have been defined.

The masonry technique

Referring to the given chronological range, the studies carried out some years ago in relation to Napoli have been extremely useful.[5] These demonstrate that during the XVIth century masonries with the «cantiere» technique were very diffused, both in tuff or in limestone. This practice consisted in the preparation of two or three courses of rubbles, rough-hewed just in the external and support faces. The result was an irregular, coarse opus, with horizontal linings generally distanced 30–60 cm, characterised by thick joints between one another, with poor mortar, sometimes signed by not slaked lime nodules. Very often the setting up of rubble stony elements took place without paying attention to the stagger of vertical joints.

Notwithstanding the above mentioned characteristics, this typology was the outcome of an ingenious device, conditioned by economical reasons, i.e. by the aim of making the most of stones of every size, accurately dressing external angles and using horizontal elements with stabilizing function, warranting, this way, structural solidity.

As a matter of facts, after the D'Angiò and the Aragona period, marked by accurate and strict works, in the Southern Italy this kind of practice spread. It reproposed the roman *opus incertum*, and it has been used till the XVIIth century, specifically 1688, when the consequences of a strong earthquake imposed the employment of regular courses. In fact already in 1564 the viceroy Perafan de Ribera pressed for abandoning the use of «cantieri», establishing the stonedresser to respect fixed measure to cut stretchers. Nevertheless, the practice has lasted further in time.

The studies concerning the Parthenopean context demonstrated that in Terra di Lavoro the manufacturing followed the common practice in the region.

The case studies

The historical centres investigated for the individuation of significant cases dated to the XVIth century are: Aversa, Falciano di Caserta, Capua, Parete, San Cipriano, San Marcellino, Teverola, Orta di Atella, San Nicola la Strada, Casapesenna, Nocelleto, Formicola, Maddaloni, Marcianise, Sessa Aurunca, Teano, Frignano.

All the examples regard yellow or grey tuff, local material directly extracted from the subsoil or taken from neighbouring quarries. They show the use of diversified size stones and of various manufacturing process, i.e., as said before, rubble pieces or regular ashlars. It is also frequent the employ of lengthened elements, called «spaccatoni», that arrive to an extension of about 50–55 cm and to an height of 35 cm. They are especially placed in stressed points or bet-



Figure 1
S. Nicola la Strada (Caserta, Italy), Lazaretto. This sample, in yellow tuff, is representative of the so called masonry «cantieri» technique

ween two courses with connection function. Another kind of component are the «asche», little pieces corresponding to manufacture discarding, applied to fill empty spaces.

Between two courses one can find tiny squaring materials, together with a double mortar layer, highlighting the passing from one another, i.e. the closing of a module of the masonry and the following restarting of the new one.

A relevant sample, synthesizing the characteristics of XVIth century masonries, is that of S. Nicola La Strada Lazaretto. It is characterized by a rubble stones wall, with evident horizontal planes indicating the passage between two «cantieri». They are high 50–55 cm, prevalent dimension registered in the investigated cases (fig. 1).

Besides, it was noticed that between the first years and the end of the XVIth century, some characteristics changed: specifically, at the beginning there was a certain continuity with the practice diffused in the XVth century, when walls had a more regular composition, that got lost during the years, and appeared back, sometimes, after the edict of 1564.

Significant in this sense is the ex bishop's palace of Falciano di Caserta,[6] erected at the end of the XVIth century on pre-existent constructions, and interested by extension works during the XVIIth century.

The explanatory masonry samples for the illustration of this variation are four. They belong respectively to the XVth, the XVIth, the end of the XVIth, the beginning of the XVIIth and the half of the XVIIth century. Even if the difference among them is subtle, it is possible to appreciate, especially in the first case, a more accurate composition, with very thin horizontal and vertical joints, and ashlars of similar size, quite regularly disposed. The situation changed in the following century, when masonry was characterised by more unequal elements, as well as by not staggered and thick joints. Finally, in the XVIIth century quite uniform and lengthened pieces were diffused (fig. 2).

The irregularity of the XVIth century masonry is demonstrated by other several exemplars, as S. Marcellino Doge's Palace (figs. 3–4).

It is realized with rubble stones of different size, never rough-hewed, that define a «cantiere» of about 50 cm, generally composed by two courses, sometimes three, when they present little elements (10×10, 5×12, 14×10 cm). The prevailing pieces have a squared shape (20×20, 27×24). Here there are also planking holes, distanced both horizontally and vertically about 1.70 m. For practical reasons, they are always aligned with the superior limit of the «cantiere», as frequently it has been verified. Interstices are filled with plentiful gross mortar, abundant of not slaked lime nodules; very often vertical joints are aligned.

Very interesting examples are also a wall in S. Cipriano di Aversa, a building in Aversa, and the Carmelite monastery in Capua, whose comparison makes possible to appreciate the peculiarities of each one. In details, the first one (fig. 5) has an accurate masonry, with irregular ashlar of similar size, disposing in two courses, that define «cantieri» high 45 cm. This dimension is one of the lower discovered so far, together with that one characterising Aversa's structure

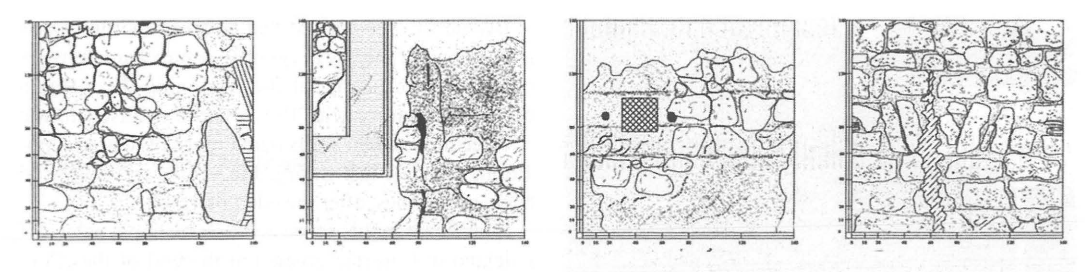


Figure 2
Falciano di Caserta (Caserta, Italy), ex Bishop's Palace. The drawing exhibits the evolution of masonry technique between the XVth and the XVIIth century

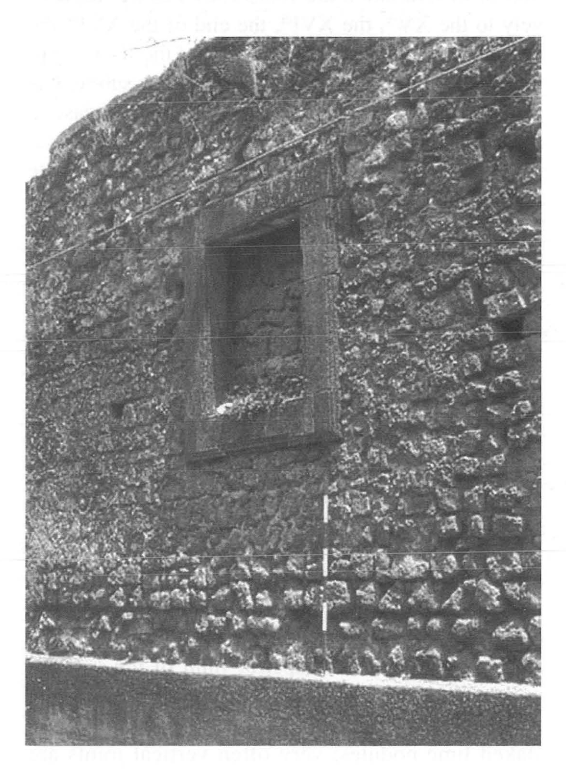


Figure 3
S. Marcellino (Caserta, Italy), Doge's Palace, lateral front. The sample exhibits a yellow tuff masonry, realized with «cantieri» technique

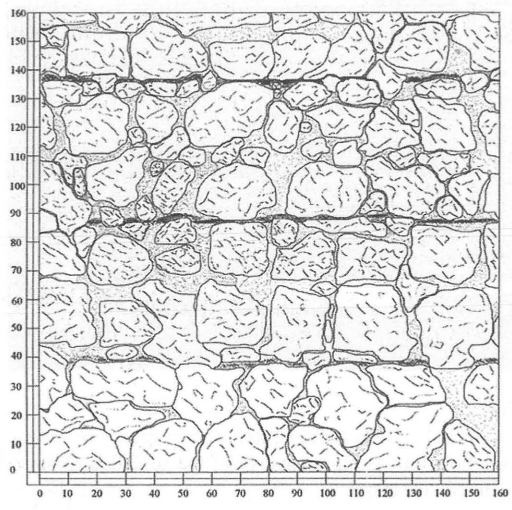


Figure 4
S. Marcellino (Caserta, Italy), Doge's Palace, lateral front. The sketch highlights the peculiarities of the masonry

(fig. 6), where one can see a sort of «mini-cantiere», whose minimum height arrives at 33 cm, thanks to the use of very small stones. Further different is the sample referred to Carmelite, marked by high «cantieri» (51–57 cm) with stony elements, in some points piled, of various shape and size, that impose the making of thick joints: specifically, there are regular blocks, ashlars and rubble stones, in addition to «spaccatoni» and «asche», used for regularizing the disposition of elements, with evident static aims (fig. 7).

This type of system is used for mixed masonries too, i.e. realized with yellow and grey tuff employed simultaneously or in limestone. Those are, for example, a building situated in the historical centre of Sessa Aurunca,[7] as well as of Riardo's Castle. The first

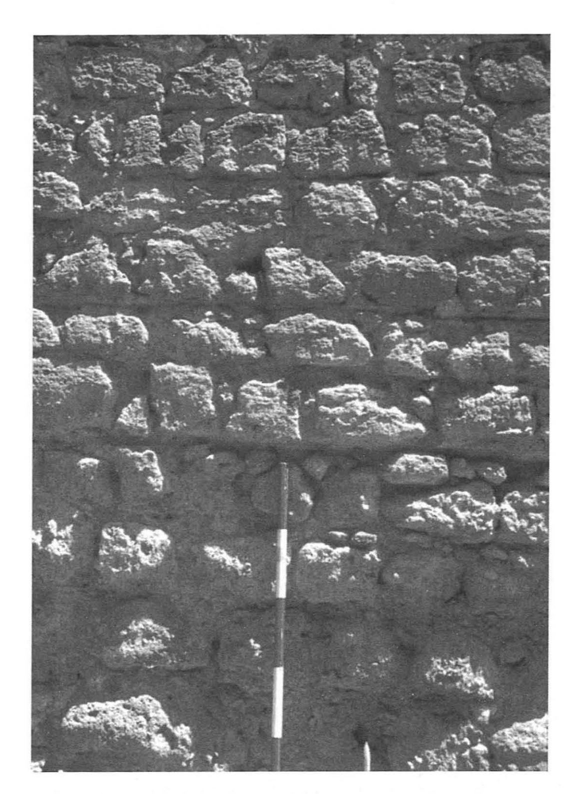


Figure 5
S. Cipriano di Aversa (Caserta, Italy), wall in via Capasso

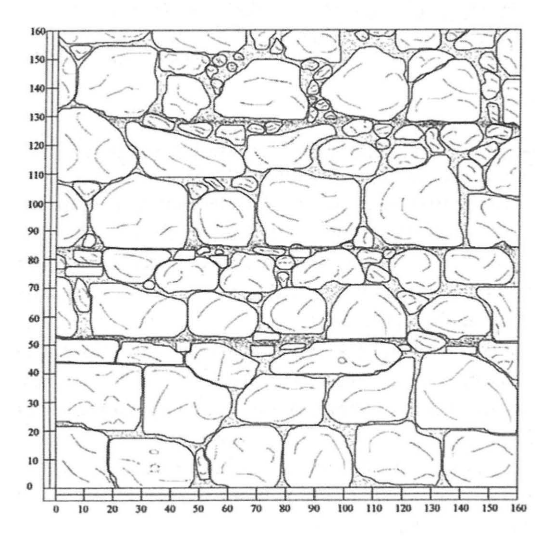


Figure 6
Aversa (Caserta, Italy), via S. Giovanni, 14

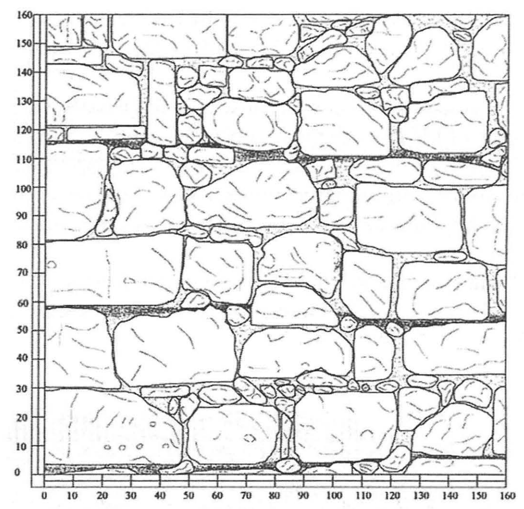


Figure 7
Capua (Caserta, Italy), Carmelite monastery

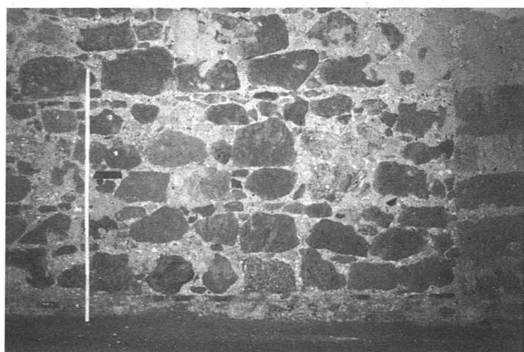


Figure 8
Sessa Aurunca (Caserta, Italy), building in via Spine, 14

one, chronologically defined also by finishes datable at the XVIth century, as the portal and the window frames, has been clearly made with meagre resources, overworking every kind of available piece, with the result of complete irregularity. Besides, there are abundant mortar parts —including not slaked lime nodules— arranged thanks to the creation of horizontal level surfaces between two different «cantieri», 50 cm high (fig. 8). This last measure comes down in Riardo fortress, reducing to 45 cm. Also in this case,

the limestone wall is composed by different size rubble stones, regularized by evident levelled planes (fig. 9).

Frequently it has been observed the existence of parts of the construction, generally used for angles, footings or donjons, that are put up using a regular masonry with squared blocks, in limestone or in Campi Flegrei volcanic tuff called «piperno» (fig. 10).

They dictate «cantieri»'s height and arrangement, as we can see in the Marcianise bell tower,[8] as well as in the Capua's town walls[9] or in the Capua castle,[10] where we can find the same pattern.

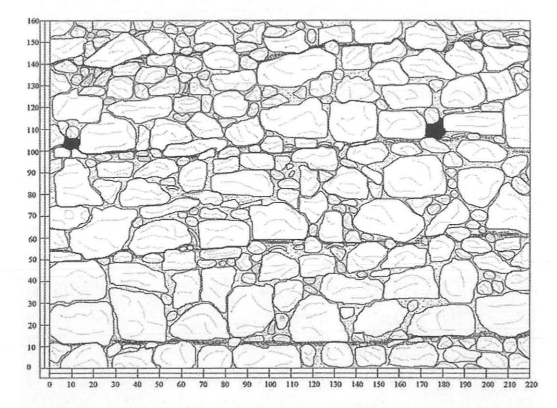


Figure 9
Riardo (Caserta, Italy), Castle. The structure is in limestone



Figure 10
Capua (Caserta, Italy), castle. View of the angular tower

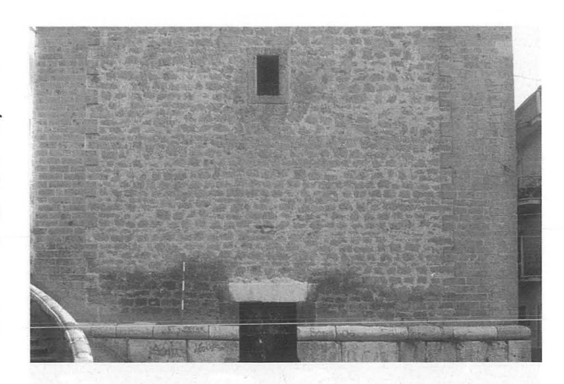


Figure 11
Marcianise (Caserta, Italy), Bell tower

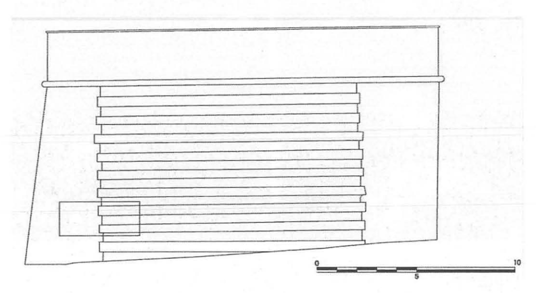


Figure 12
Capua (Caserta, Italy), town walls. Scheme of angle stones and «cantieri» arrangement

In the first case, dated 1574, the footing is in limestone, while the upper part shows yellow tuff «cantieri», whose composition (2 courses) and height (40 cm) is determined by perfectly cut yellow tuff «spaccatoni» (fig. 11).

Capua town walls, built in the second half of the XVIth century, has angular elements formed by «piperno» blocks, whose height, equal to about 45 cm each, defines a «cantiere» composed by two smaller elements courses. The latter, very regular, allows the definition of fine joints, with a safe static result (figs. 12–13).

Capua fortress, built during the Spanish reign by Carlo V in the first half of the XVIth century, differs

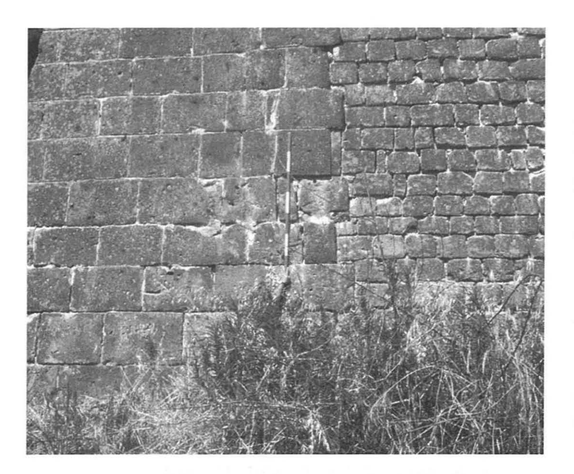


Figure 13
Capua (Caserta, Italy), town walls. Detail of the angle masonry dressing



Figura 14
Capua (Caserta, Italy), castle. Particular of the cornerstones

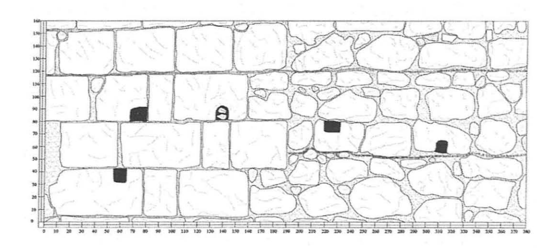


Figure 15
Capua (Caserta, Italy), castle. The representation reproduces an example of regular masonry shaping the angle

because of the presence of «cantieri» with rubble stones, implicating the creation of thick joints and the use of levelling «asche». Its height is about 65 cm, and it is composed by two or three courses, corresponding to two angular «piperno» blocks, realized with lengthened stony elements sometimes not staggered (fig. 14).

In the Capua's castle, the angular structure shows big masses of stone, high 35 cm about and large 50–55 cm. Two blocks define a «cantiere», that consequently exhibit an height of 70 cm. It is composed by two our three courses of rubble stones, disposed following a very usual practice, consisting in the collocation of big elements at the base of «cantiere», and of little ones at its top (fig. 15).

Conclusions

The research results exhibit a series of different samples, referring to the XVIth century common practices, whose chronology is a very important *datum* for the recognition of unidentified constructions, generally consisting of the so called «minor buildings», when it has lost its formal features.

In other words, even if the study is not exhaustive, it offers a sampling that can represent an useful point of reference for recognizing historical manufacture, at disposal of insiders.

Besides, one believe that the deep knowledge of constructive characteristics, by a structural, chemical and physical point of view, is the only preliminary remark to plan a conservation project, in the respect of materical and figurative consistence of architectural heritage.

Notes

1. Ferrando, Mannoni, Pagella 1989; Francovich, Parenti 1988; Mannoni 1984; Mannoni, Milanese 1988; Parenti 1990; Parenti 1992.
2. AA.VV. 1987; Cagnana 1996; Della Torre (edited by) 1996; De Meo 2006. Esposito 1996; Esposito 1998; Fiorani 1996a; Fiorani 1996b; Esposito, Fiorani 2005; Ghislanzoni, Pittaluga 1989; Mannoni 1974.
3. Fiengo 1983; Fiengo 1996; Fiengo 2001; Fiengo, Guerriero 1997; Fiengo, Guerriero 1998; Fiengo, Guerriero (edited by) 1999; Guerriero 1996; Fiengo, Guerriero 2002; Fiengo, Guerriero (edited by) 2003; D'Aprile 2001. Cfr. also PhD thesis edited by G. Fiengo and

L. Guerriero at the Faculty of Architecture - II Università di Napoli: Menzione 2003. Cavallaccio 2002; Ferri 2002; Cecere 2004. De Marco 2005.
4. Giannattasio 2003.
5. Russo 1996; Russo 1999.
6. Carafa, Giannattasio 2005; Giannattasio in course of publication.
7. Diamare 1906; Carelli 1972; Villucci 1995.
8. Costanzo 1991.
9. Di Resta 1974; Di Resta 1976; Jacobitti 1996; Robotti 2002.
10. Panfili, Robotti 1995; Robotti 2002.

Lista de referencias

AA. VV. 1987. *Conoscenza e sviluppi teorici per la conservazione dei sistemi costruttivi tradizionali in muratura.* (Atti del convegno, Bressanone 1987). Padova.

Brogiolo, G. P. 1988. *Archeologia dell'edilizia storica.* Como.

Cagnana, A. 1996. «Rilevamenti di murature in Liguria». In Della Torre (ed.).1996. *Storia delle tecniche costruttive e tutela del costruito. Esperienze e questioni di metodo.* (Atti del convegno, Brescia 1995), 159–170. Milano.

Carafa, R.; Giannattasio, C. 2005. «L'episcopio di Falciano in Caserta: lettura stratigrafica delle strutture (XV–XX sec.)». In Mochi, G. (ed.). 2005. *Teoria e pratica del costruire: saperi, strumenti, modelli. Esperienze didattiche e di ricerca a confronto.* (Atti del Seminario Internazionale, Ravenna 2005), v. IV, 1409–1419. Ravenna.

Carelli, E. 1972. «Elementi architettonici durazzeschi e catalani a Sessa Aurunca». *Nap. Nob.*, XI, I–III: 33–45.

Cavallaccio, S. 2002. *Ferramenta «di riparo» dell'edilizia tradizionale campana dal XVII al XX secolo. Cronotipologia e tecniche di conservazione.* PhD thesis (tutor L. Guerriero). Aversa.

Cecere, G. 2004. *Cronotipologia e caratterizzazione meccanica delle murature in tufo seicentesche in Terra di Lavoro.* PhD thesis (tutor G. Fiengo). Aversa.

Costanzo, S. 1991. *La Chiesa dell'Annunziata in Marcianise.* Napoli.

D'Aprile, M. 2001. *Murature angioino-aragonesi in Terra di Lavoro.* Napoli.

Diamare, G. 1906. *Memorie critico-storiche della chiesa di Sessa Aurunca*, v. II. Napoli.

Della Torre, S. (edited by). 1996. *Storia delle tecniche costruttive e tutela del costruito. Esperienze e questioni di metodo.* (Atti del convegno, Brescia 1995). Milano.

De Marco, C. 2005. *I solai e le coperture lignee a Napoli ed in Terra di Lavoro dal XVI al XIX secolo. Analisi cronotipologia e metodi di conservazione.* PhD thesis (tutor G. Fiengo). Aversa.

De Meo, M. 2006. *Tecniche costruttive murarie medievali. La Sabina. Storia delle tecniche edilizie e restauro dei monumenti.* Roma.

Di Resta, I. 1974. «Contributo alla storia urbanistica di Capua». *Nap. Nob.*, XIII, V.

Di Resta, I. 1976. «Contributo alla storia urbanistica di Capua». *Nap. Nob.*, XV, I–II.

Esposito, D. 1996. «La tecnica muraria a blocchetti lapidei in area romana». In *Storia delle tecniche costruttive...*: 113–126.

Esposito, D. 1998. *Tecniche costruttive medievali. Murature «a tufelli» in area romana.* Roma.

Esposito, D.; Fiorani, D. (edited by). 2005. *Tecniche costruttive dell'edilizia storica. Conoscere per conservare.* Roma.

Ferrando, I.; Mannoni, T., Pagella, R. 1989. *Cronotipologia.* In *Archeologia Medievale*, XVI: 647–661.

Ferri, L. 2002. *Infissi tradizionali campani dal XVI al XX secolo. Cronotipologia e tecniche di conservazione.* PhD thesis (tutor L. Guerriero). Aversa.

Fiengo, G. 1983. *Organizzazione e produzione edilizia a Napoli all'avvento di Carlo di Borbone.* Napoli.

Fiengo, G. 1996. «Cronologia dei paramenti murari napoletani moderni». In *Storia delle tecniche costruttive...*: 53–70.

Fiengo, G.; Guerriero, L. 1997. «Maestri di muro nella Campania angioina e aragonese». In *Magistri d'Europa. Eventi, relazioni, strutture della migrazione di artisti e costruttori dai laghi lombardi.* (Atti del convegno, Como 1996), edited by Della Torre, S.; Mannoni, T.; Pracchi, V.: 177–192. Como.

Fiengo, G.; Guerriero, L. 1998. «Mensiocronologia delle murature napoletane in tufo giallo (XVI–XIX)». In *Metrologia e tecniche costruttive.* (Atti dell'incontro di studio, Pescara 1998). Pescara.

Fiengo, G.; Guerriero, L. (edited by). 1999. *Murature tradizionali napoletane. Cronologia dei paramenti tra XVI e XIX secolo.* Napoli.

Fiengo, G. 2001. *Case a volta della costa di Amalfi.* Napoli.

Fiengo, G.; Guerriero, L. 2002. *Il centro storico di Aversa. Analisi del patrimonio edilizio*, vv. I–II. Napoli.

Fiengo, G.; Guerriero, L. (edited by). 2003. *Atlante regionale delle tecniche costruttive tradizionali (XV–XIX). Lo stato dell'arte, i protocolli della ricerca, l'indagine documentaria*, v. I. Napoli.

Fiorani, D. 1996a. «Le tecniche costruttive murarie medievali del Basso Lazio. Metodo e percorsi di una ricerca». In *Storia delle tecniche costruttive...*: 97–112.

Fiorani, D. 1996b. *Tecniche costruttive murarie medievali. Il Lazio meridionale.* Roma.

Francovich, R.; Parenti, R. (edited by). 1988. *Archeologia e restauro dei monumenti.* Firenze.

Ghislanzoni, P.; Pittaluga, D. 1989. «Un metodo di datazione del patrimonio edilizio: la curva mensiocronologica

dei mattoni in Liguria». In *Archeologia medievale*, XVI: 675–82.

Giannattasio, C. 2003. «Le fonti per lo studio della produzione edilizia in Campania tra XV e XVI secolo: il caso di Sessa Aurunca». In *Atlante regionale delle tecniche costruttive tradizionali (XV–XIX)*: 229–239.

Giannattasio, C. In course of publication. «L'Episcopio di Falciano in Caserta: cronologia delle strutture attraverso l'analisi dei paramenti murari». In *Francesco Collecini. La diffusione della cultura vanvitelliana*. (Atti del convegno internazionale di studi, S. Leucio 2004).

Guerriero, L. 1996. «Note sulle cortine laterizie napoletane dell'età moderna». In *Storia delle tecniche costruttive...*: 71–81. Milano.

Jacobitti, G.M. 1996. «Il restauro delle mura di Capua». In *Le cinte murarie urbane della Campania: Teano, Sessa Aurunca, Capua*, edited by Colletta T.: 123–142. Napoli.

Mannoni, T. 1974. «L'analisi delle tecniche murarie medievali in Liguria». In *Atti del Colloquio Internazionale di Archeologia Medievale del Mediterraneo*: 291–300. Palermo.

Mannoni, T. 1984. «Metodi di datazione dell'edilizia storica». *Archeologia medievale*, XI: 396–403.

Mannoni, T.; Milanese, M. 1988. «Mensiocronologia». In *Archeologia e restauro dei monumenti*, edited by Francovich, R.; Parenti, R.: 383–402. Firenze.

Menzione, G. 2003. *La ricostruzione di Benevento dopo i terremoti del 1688 e del 1702. Opere, artefici, norme, tecniche e materiali*. PhD thesis (tutor G. Fiengo). Aversa.

Pamfili, B.; Robotti, C. 1995. *Il Castello di Carlo V a Capua. Disegni di rilievo, modelli, documenti d'archivio*. Lecce.

Parenti, R. 1990. «Il metodo stratigrafico e l'edilizia storica». In *Il modo di costruire*. (Atti del I Seminario Internazionale, Roma 1988), edited by Casciato, M.; Mornati, S.; Scavezzi, C.P.: 297–310. Roma.

Parenti, R. 1992. «Fonti materiali e lettura stratigrafica di un centro urbano: i risultati di una sperimentazione "non tradizionale"». In *Archeologia medievale*, XIX: 7–63.

Robotti, C. 2002. *Il castello di Carlo V a Capua. Permanenze Personaggi Segni Progetti*. Napoli.

Russo, M. 1996. «Apparecchi murari "a cantieri" del XVI secolo in Napoli». In *Storia delle tecniche costruttive*: 83–96.

Russo, M. 1999. «Magisteri murari "a cantieri" nell'età del viceregno spagnolo». In *Murature tradizionali napoletane...*: 71–151.

Villucci, A.M. 1995. *Sessa Aurunca storia e arte*. Minturno.

El yeso en la arquitectura tardogótica valenciana

María Isabel Giner García

Recientemente, las intervenciones llevadas a cabo principalmente en arquitectura civil, están mostrando un tipo de arquitectura del cual apenas existían noticias. Salvo alguna excepción como la del desaparecido Palau dels Centelles en Oliva, cuyas referencias se conocen íntegramente gracias al publicado [1] material gráfico y fotográfico realizado por el arquitecto danés E. Fischer (fig. 1) y el joven arquitecto V. Lauritzen a principios del s. XX.

Tanto dicho documento, de gran trascendencia historiográfica, como los ejemplares descubiertos en las actuales restauraciones, revelan en cualquier tipología un tipo de arquitectura de yeso ejemplar, e incluso hasta se podría decir inédita. Originalidad ésta, justificada gracias a la distinción manifiesta, en gran medida, entre la concepción formal de éstos con respecto a sus homólogos realizados en piedra.

De este modo, se descubren con cierto valor artístico elementos arquitectónicos tales como portadas, ventanas, escaleras helicoidales, nervios de bóvedas de crucería, chimeneas, revoltones, etc. Elementos de interés patrimonial desarrollados a finales del s. XV y principios del s. XVI, en la Arquitectura Valenciana debido a las continuas adaptaciones de las edificaciones singulares preexistentes, a las nuevas tendencias estilísticas del momento.

Especial mención merece el aspecto constructivo, donde a simple vista, se pone de manifiesto de una forma muy peculiar las distintas técnicas de ejecución implícitas en el manejo de un material como el yeso. No exentas, sin embargo, de ciertas incógnitas acerca de cómo nuestros antepasados llegaron a materializar exactamente esta magnífica obra de artesanía. Procedimiento, materiales empleados (sólo yeso, yeso y cal, yeso y áridos), adiciones o no para mejorar o modificar alguna propiedad, etc. Inclusive quien o quienes fueron los autores tanto a nivel formal como a nivel constructivo. ¿Fue mano de obra morisca?,[2] ¿Qué oficio tenían?, ¿Eran alarifes, picapedrers, orfebres? . . .

Para poder dar respuesta a todas estas preguntas, es necesario recurrir por un lado a fuentes documentales y por otro complementar la información obtenida a través de aquellas con ensayos o analíticas. Con respecto a las primeras, la localización se hace un tanto ardua y escasa, llegando a ser incluso nula. Únicamente se hace posible una orientación en las pesquisas a través de elementos arquitectónicos de traza similar resueltos en piedra. En último lugar, resta la segunda opción, la cual dará información no solo de identificación de materiales sino también del proceso seguido para la ejecución.[3]

El presente documento pretende por tanto, poner de relieve un tipo de arquitectura de la etapa tardogótica en el ámbito valenciano muy poco estudiada y de un gran valor artístico, así como reflexionar sobre las técnicas de ejecución utilizadas y su aplicación sobre todo a elementos arquitectónicos como portadas y ventanas.

El ámbito de aplicación se hace patente en el enunciado del título, refiriéndose por tanto a la arquitectura tardogótica, lo cual en principio parecía ser

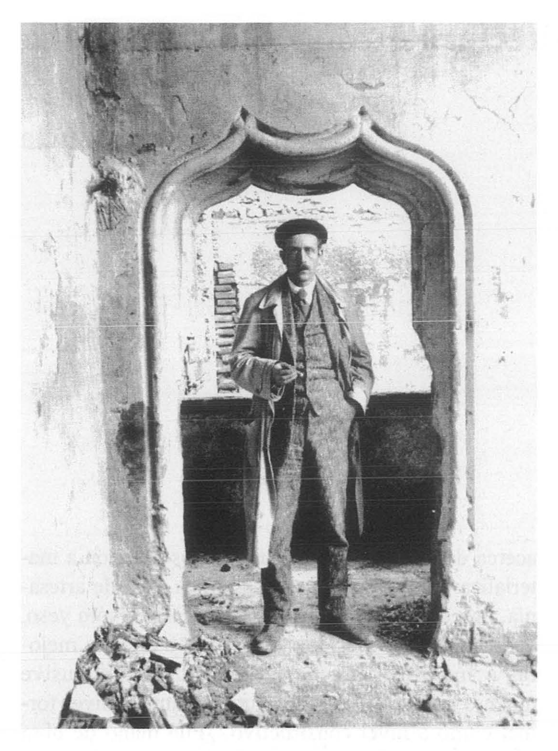


Figura 1
Fotografía que muestra a E. Fischer bajo una de las puertas tardogóticas realizadas con yeso del Palau dels Centelles. (Esteve et al. 1997)

exclusivo en tipologías como los palacios o casas señoriales. Sin embargo, profundizar en el tema ha deparado sorpresas, en el sentido de mostrar un tipo de arquitectura totalmente adaptable a cualquier tipo de medio, utilizado en cualquier tipología. Desde castillos de defensa militar, a edificaciones religiosas, incluso llegando a las más humildes como las alquerías de la huerta valenciana.

Las arquitecturas de yeso en el ámbito valenciano. S. XV-XVI

Numerosas reseñas (Martínez Aloy 1920, 630; Llorente [1887] 1980, 1: 142–143; Zaragozá 2000, 123–124) nos muestran el auge del comercio y la industria en la Valencia del siglo XV, sobre todo a partir de mitad de siglo. Gracias a este apogeo, también triunfaron las artes, las ciencias, la literatura, y como no, la arquitectura.

Con el panorama de máxima prosperidad descrito, lógicamente se favoreció la práctica constructiva, en gran parte arquitectura de tipología civil. Aunque también se desarrolló la arquitectura de carácter defensivo y religioso.

Los maestros de obras que contribuirán principalmente al desarrollo de las características innovadoras y de experimentación propias del siglo XV, según Zaragozá (2000) son Antoni Dalmau, Francesc Baldomar, Francesc Martí Biulaygua, Pere Compte, y Joan Corbera, entre otros.

Se dice que el periodo *tardogótico valenciano* está caracterizado por la introducción de nuevas geometrías, ampliación del vocabulario formal, (letra cursiva añadida) « . . . una mayor riqueza ornamental. La arquitectura comienza a ser pródiga en elegantes tracerías y estirados pináculos y se aprecia el gusto por las *maclas*. La finura del detalle, lo peculiar de las composiciones y el atrevimiento de las estructuras . . . recoge la presencia simultánea del diseño germánico, del lenguaje clásico, de las formas entorchadas, de los *arcos cortina*, etc » (Zaragozá 2000, 124), a diferencia de como venía siendo con anterioridad al siglo XV. En definitiva, un sin fin de primicias de carácter técnico, tal y como sucedería en el resto de Europa en ese mismo siglo XV.

El momento álgido de desarrollo de los yesos en la arquitectura tardogótica valenciana, parece ser coetáneo con el trasvase, al ámbito de la albañilería, de las innovaciones técnicas alcanzadas por la estereotomía. Se produciría por tanto a nivel constructivo un enriquecimiento y una actualización de la técnica decorativa a partir del último cuarto del siglo XV. A tenor del gran número de ejemplares descubiertos, parece ser un tipo de arquitectura que contribuía claramente en la definición de la ornamentación del espacio interior de las salas en la arquitectura tardogótica.

Se puede decir, que las piezas arquitectónicas halladas poseen una belleza inigualable, y de una calidad formal similar a la desarrollada por la cantería. De los restos conservados, y hasta ahora descubiertos, se deduce que era una forma de hacer arquitectura a todos los niveles. Sin embargo, se localizan con mayor profusión en la arquitectura civil, y más concretamente en los palacios, castillos-palacios o casas señoriales.



Figura 2
Palau dels Sorells en Albalat dels Sorells. Vista del patio típico interior de casa señorial valenciana, donde se aprecia la transformación de la portada de acceso al studi en el primer rellano de la escalera, que originariamente era de yeso y modificada a piedra en restauraciones posteriores. (Zaragozá 2000)

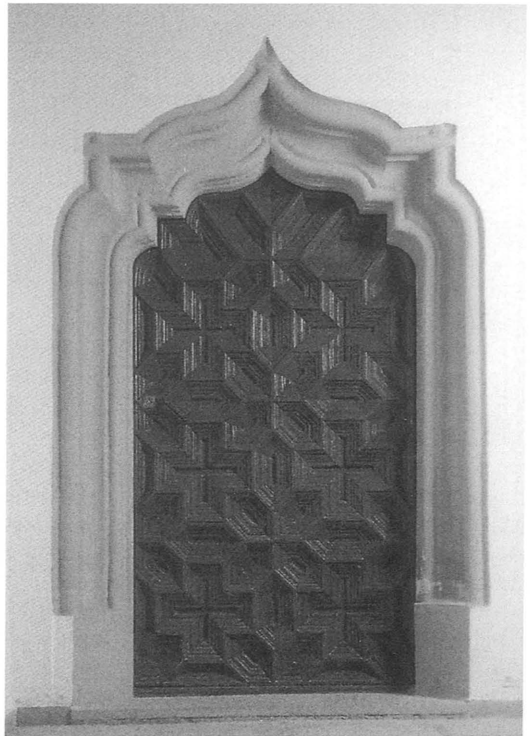


Figura 3
Palau dels Almirall d'Aragó en Valencia. Portada mixtilínea en *guix* [yeso] conservada del primitivo origen. (Vicenç et al. 1991)

En Albalat dels Sorells [Valencia] se encuentra el Palau dels Sorells, del cual, según se deduce del acta de venta, ya existía una « . . . casa e castell del senyor . . . » (Rodrigo 1978) cuando Tomás Sorell[4] compró la propiedad en 1480. Tomás Sorell murió en 1485. Momento en que, estaba prácticamente acabado el palacio. Su sobrino heredero, Bernat Sorell, levantó acta notarial de lo que encontró en la propiedad en 1486. El acta notarial desvelada por Rodrigo (1978), decía que (letra cursiva añadida) « . . . en el rellano de la escalera, una puerta de complicado arco conopial, *labrada en yeso*, daba paso al studi, en el entresuelo . . . » En la actualidad transformada en piedra (fig. 2) tras posteriores restauraciones.

En Valencia, en el Palacio de los Almirantes de Aragón, pese a sus transformaciones aparecen vestigios de su primitivo origen gótico. De la construcción original conserva, según Benito Goerlich, (letra cursiva añadida) « . . . En el primer rellano, entre los dos tramos, situada en el ángulo noroeste, se encuentra una elegante y severa puerta conopial *esculpida en yeso* . . . , por la cual se accede a la parte del entresuelo que da a la parte derecha de la fachada principal . . . » (Vicenç et al. 1991) (fig. 3)

El Palacio de los Condes de Oliva [Oliva, Valencia], es el máximo exponente de la arquitectura tardogótica valenciana que nos muestra la coexistencia estilística materializada en yeso. A resaltar, la gran variedad de portadas, (fig. 4) que hubo en el palacio. El conocimiento de estas portadas, así como de otros elementos con valor artístico, se deben a las labores de toma de datos y realización de material fotográfico, llevadas a cabo por Lauritzen y E. Fischer respectivamente, publicadas en su gran mayoría en un monográfico sobre el mismo palacio.

Destaca así mismo el Castillo Palacio de Geldo [Geldo, Castellón], del cual las actuales restauraciones han puesto al descubierto los restos ornamentales de lo que parece formó parte del engalanamiento interior en los marcos de puertas (fig. 5) y ventanales realizados con yeso. De igual forma, aparecen también ejecutados con yeso unos nervios (fig. 6) prefabricados para unas bóvedas de crucería del interior.



Figura 4
Portada del tipo *cortina* del Palacio de los Centelles de Oliva [Oliva]. Muestra la convivencia entre formas puramente tardogóticas con decoración claramente renacentista realizados en yeso. (Esteve et al. 1997)

Estos últimos podrían formar parte de la prefabricación y seriación que a su vez tuvo lugar en el ámbito de la cantería en el siglo XV.

El Palacio de los Próxita [Llutxent, Valencia], prototipo de castillo-palacio gótico valenciano del que también se halla escasa información, únicamente se localizan referencias a través del informe preliminar de la intervención arqueológica en el que se comenta que «Como elementos más característicos . . . habría que señalar la proliferación del yeso en la realización de los marcos de puertas y ventanas, tanto conopiales como carpaneles y de medio punto . . . » (Martínez y Vila 2000). (fig. 7)

Del Castillo-Palacio del Señor en Sot de Ferrer [Castellón], afortunadamente son muchos los elementos arquitectónicos de factura tardogóticos ejecutados en yeso conservados, sobre todo portadas, y algunas ventanas, probablemente gracias a las minas de yeso que tiene el pueblo, como así lo destaca Sarthou (1920, vol. 5). La calidad de estos elementos arquitectónicos es excepcional. Tanto es así, que la traza de algunas, como la portada (fig. 8) de acceso a la sala principal muestra similitudes con las de otros edificios tan destacados como las del Palacio de Mosén Sorell en Valencia o incluso la Lonja. Destaca también en su interior una chimenea (fig. 9) característica de la época.

Las arquitecturas del yeso proliferaron tanto que llegaron incluso a manifestarse en espacios secundarios, realizando lo que se puede denominar como microarquitecturas. Espacios donde no por tener ese carácter adicional dejaban de tener importancia, sino todo lo contrario. De esta forma la fase de experi-

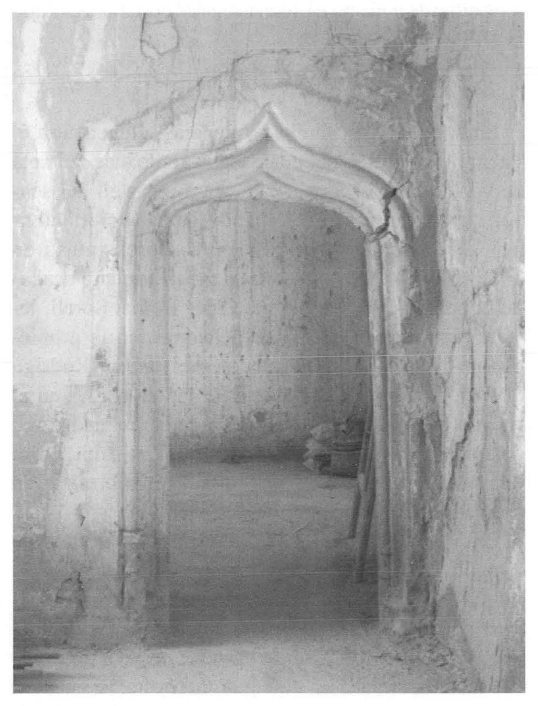


Figura 5
Castillo Palacio de Geldo [Geldo]. Portada abocinada, ejecutada con yeso, que asocia arcos conopiales sobre baquetones emergentes de unas basas de traza tardogótica, dispuestas a modo de guardapolvo, con un arco carpanel en el intradós



Figura 6
Castillo Palacio de Geldo. Restos de los nervios de yeso de una bóveda de crucería

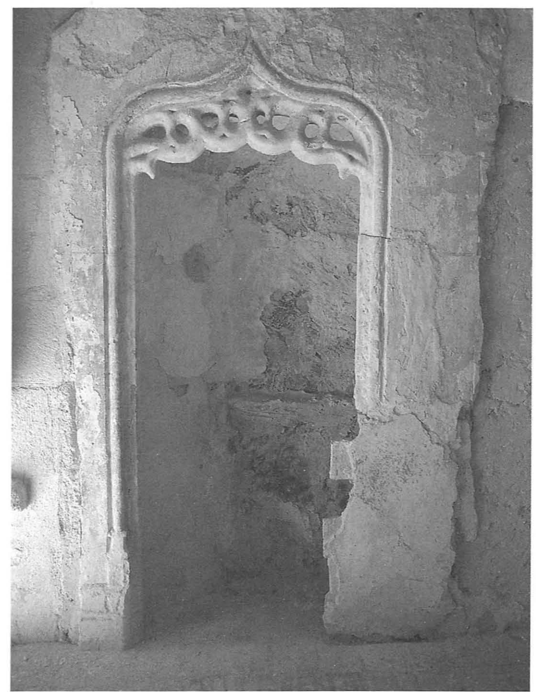


Figura 7
Palau Vell o Palacio de los Próxita de Llutxent. Singular portada realizada con yeso, abocinada de arco conopial, moldurada con finísimo bordón sobre basa gótica en el extradós, y ornamentada en el intradós con delicada tracería curvilínea

mentación constante a lo largo de todo el siglo XV en el *art de la pedra* también lo llegó a ser en el yeso. Es el caso de las formas helicoidales planteadas por Guillem Sagrera en la construcción de escaleras de caracol de ojo abierto o de Mallorca. Así la experimentación e innovación en este campo fue posible, gracias a la versatilidad que ofrecía un material como el yeso, capaz de imitar al más excelente material pétreo y con las ventajas económicas que suponía, tal y como D. José Ortiz Sanz (1739–1822) refleja en su versión de *«Los 10 libros de Arquitectura»* de Vitruvio al decir que « . . . En el Reyno de Valencia es muy común el uso del yeso con grande ahorro de gastos . . . » (Gárate 1999, 43).

Ejemplo de esta experimentación es una curiosísima escalera que alberga el Colegio del Arte Mayor de la Seda en Valencia, edificio consecuencia del auge económico en el siglo XV de la misma industria a la que representa. Las reseñas a la mencionada escalera helicoidal tardogótica de yeso (fig. 10) que allí se conserva proceden de J. Esteban en el *Catálogo de Monumentos y Conjuntos de la Comunidad Valenciana*. De ella se dice expresamente que (letra cursiva añadida) « . . . se conserva, del primitivo edificio, el arranque de una escalera gótica de caracol, *labrada* con gran perfección en su antepecho y galería» (Esteban, J. *CMCHCV* 1983, 2: 398–401).

El Antiguo Monasterio de San Jerónimo de Cotalba en Alfahuir [Valencia], es uno de los mejores ejemplos de arquitectura monástica conservados en la Comunidad Valenciana. Todos los autores (Llorente [1887] 1980, 695–701; Pérez i Moragón 1991, 60; Zaragozá 2000, 88, 153, 157; Mira y Zaragozá 2003, 2: 108–110) destacan la excelente escalera de caracol de traza flamígera con profusas decoraciones de tracería (fig. 11), situada entre la sala capitular y el claustro, próxima a la iglesia.

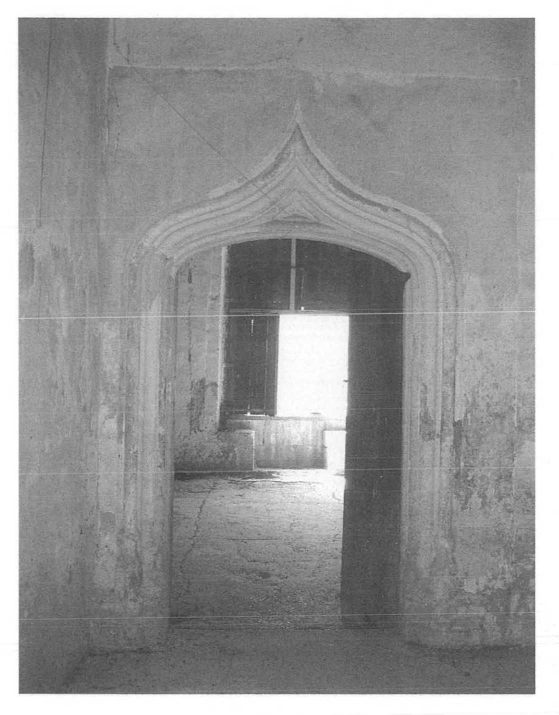


Figura 8
Castillo-Palacio del Señor en Sot de Ferrer. Portada materializada en yeso, abocinada, presenta asociación de arco carpanel en el intradós, y arco conopial en el extradós, ambos moldurados mediante bordón sobre basa propia del gótico tardío y tímpano liso

Sus detalles (fig. 12) muestran cierta exquisitez en la labra, y con respecto al trazado aparecen ciertas referencias a los elementos sogueados realizados en piedra en la misma época.

Técnicas de ejecución

Gárate (1999) nos aporta una visión global de las distintas formas de ejecutar las yeserías. Esto es, bien talladas, bien moldeados constituyéndose a modo de prefabricados, o bien a base de aterrajados, o incluso puede que mezcla entre ellas. Para no entrar en conflicto con las denominaciones hay que señalar la diferencia entre modelar y moldear, puesto que a menudo se suelen confundir. Moldear, como su propio nombre indica se refiere a realizar moldes, por tanto se podría asimilar con los prefabricados. Y modelar, consiste en dar forma, ya sea manualmente o con herramientas adecuadas. En este último caso, se puede hablar de tallar.

Sobre el oficio que tenían quienes trabajaban con este material el tipo de elementos arquitectónicos que aquí se desarrollan, se habla en varios Tratados de Construcción. Es el caso de Sebastián de Covarrubias (1611),[5] a los que les llama oficiales. También Pascual Perder y Gallego (1853)[6] trata a la albañilería como un arte, aunque mecánico, especificando con posterioridad que el albañil debe tener algunas nociones de montea, carpintería, etc. Incluso Gárate quiere «. . . advertir las complejidades de las técnicas de amasado, pues son temas de oficio, pero no rutinarios ni seriados» (Gárate 1999, 102).

Obviamente este tipo de trabajos requiere de ciertos conocimientos y destrezas, tanto en la manipulación del material como en el procedimiento o técnica



Figura 9
Castillo-Palacio del Señor en Sot de Ferrer. Característica chimenea, accesorio de la sala principal utilizado durante el gótico tardío, realizada con yeso



Figura 10
Colegio Mayor del Arte de la Seda [Valencia]. Escalera helicoidal de ojo abierto de yeso endurecido

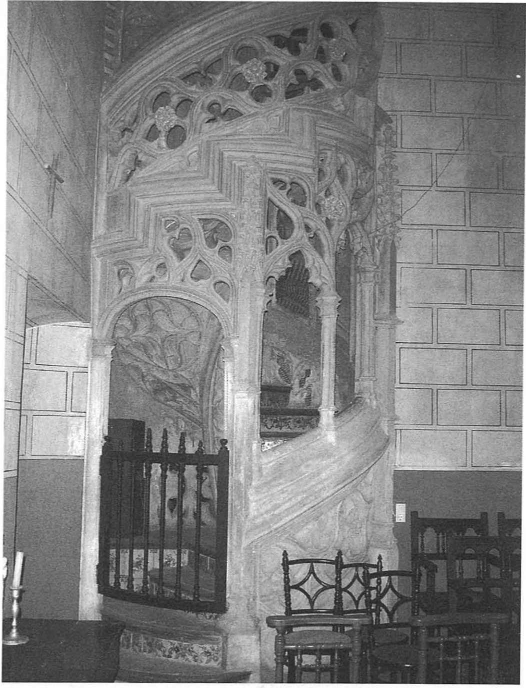


Figura 11
Antiguo Monasterio de San Jerónimo de Cotalba, Alfahuir. Escalera helicoidal de ojo abierto. La delicada y complejísima labor en yeso hace pensar en la posibilidad de que ésta se haya realizado mediante la técnica de la talla

con la que se elabora el detalle de ornato. ¿Eran *mestres piquer* [maestros de obras], *mestres de obra de vila* [maestros albañiles], alarifes, orfebres, . . . ? Hasta el momento, se carece de documentación acreditativa de toda autoría en cualquiera de los elementos hallados en variedad de edificaciones, tanto públicas como privadas. Al respecto de las herramientas, poco se puede decir, ya que se desconoce totalmente. Por otra parte, estaría completamente condicionado por la técnica empleada en la labor.

En primer lugar cabría mencionar la técnica de la talla o modelado, como ya apuntaba Sebastián de Covarrubias (1611). Poco se puede decir de esta técnica sin recurrir a la cantería en general, y por tanto labor ejecutada según el llamado *art de picapedrer* o de la montea.[7] Coincidiendo además con el auge de este arte en la segunda mitad del siglo XV, así como el posible trasvase de las técnicas constructivas de la cantería a la albañilería, tal y como señala Bérchez (1994, 46). Es obvio que en este caso la labor se facilitaría bastante, dada la reducida dureza del yeso. Así, podríamos estar ante ejemplos resueltos con esta técnica como el realizado en el pretil de la escalera helicoidal del coro de la Iglesia Arciprestal de Morella (fig. 13). También la magnífica escalera helicoidal del Monasterio de San Jeroni de Cotalba, incluso la del Colegio Mayor del Arte de la Seda en Valencia.

En segundo lugar, se trata aquí la técnica de moldear, o sacar el molde de una figura obteniendo elementos prefabricados (fig. 14). Así pues, se podría considerar la adopción de esta forma constructiva similar a la seriación y prefabricación[8] de la piedra desarrollada de forma paralela. Un Tratado de Construcción que versa sobre la técnica del moldeo, escrito por un anónimo y titulado *Secretos raros de artes y oficios*[9] trata con todo detalle esta técnica. Ya el propio título del Tratado nos indica las connota-



Figura 12
Antiguo Monasterio de San Jerónimo de Cotalba, Alfahuir. Detalle de la escalera helicoidal de ojo abierto mostrando los elementos sogueados y finos pináculos

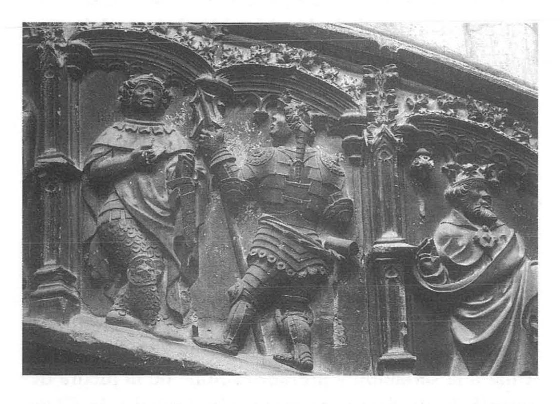


Figura 13
Detalle del pretil de la escalera helicoidal del coro de la Iglesia Arciprestal de Morella [Castellón]. La precisión en esta obra bien merecería atribuirla a la técnica de la talla. (Zaragozá 2000)

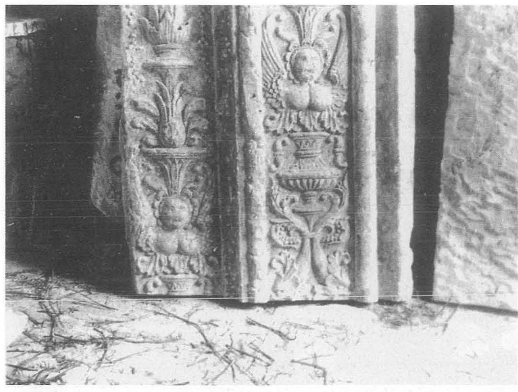


Figura 14
Fragmento del montante de una puerta con traza tardogótica pero con decoración renacentista. Las piezas, según E. Fischer (letra cursiva añadida) « . . . han sido *vaciadas* en el mismo *molde* antes de ser colocadas en su lugar.» (Esteve et al. 1997), lo cual ya indica la técnica de ejecución empleada. (Esteve et al. 1997)

ciones con las que el tema de estudio era tratado [*arte* y *oficio*]. Por otro lado, los considera *secretos* y además *raros*, por lo que no debía estar muy difundido este arte y a la vez oficio tan extraño.

Por último, el aterrajado, tratado de forma breve por Gárate (1999, 84–87). A resaltar el capítulo XXXII, *De los resaltos y molduras de yeso* por contar con toda profusión de detalle este aspecto, escrito por D.F.B. Y B (1863).[10] En este manual de albañilería se habla sobre cuándo hacer los resaltos formados de yeso o molduras de yeso, y en ese caso qué hacer. Distingue dos tipos de molduras. Unas para construir fajas, cornisas, etc. y las otras para el moldeo de puertas y ventanas.

Se detiene en el modo de realizar el moldeado de puertas y ventanas (fig. 15), tanto las molduras simples como las circulares, elípticas, etc. y sostiene que «El yeso debe estar forjado mas fuerte en las primeras capas que en las esteriores, para que la terraja no tenga que vencer tanta resistencia y perfile mejor el moldeado. Las uniones en los encuentros de molduras, cualquiera que sea su forma, se recorren y perfeccionan á mano, valiéndose de formones y gubias, y reglas de madera dura.» (D.F.B. Y B. 1863)

En otras ocasiones, da la impresión de que los artesanos han seguido ciertos principios similares a los

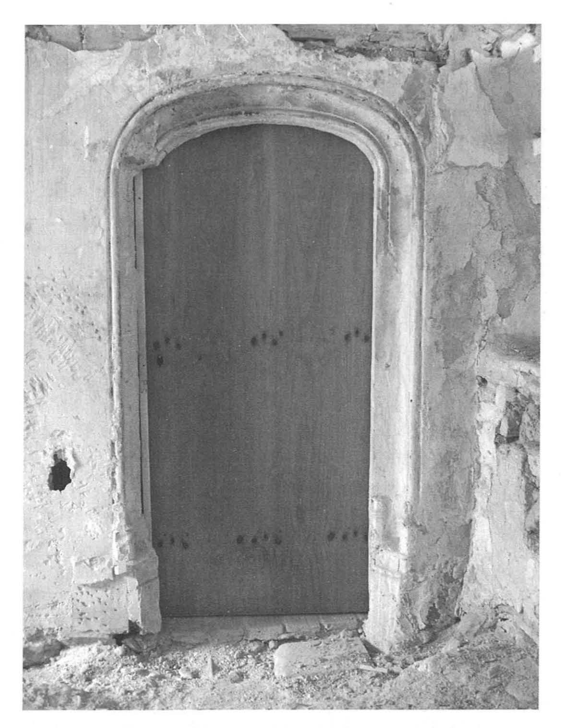


Figura 15
Portada abocinada de arco carpanel moldurado, con bocel en intradós y en extradós, emergentes ambos de una basa de traza medieval. El moldeado, tanto de molduras rectas como circulares, de esta portada del Palau Vell de Llutxent [Valencia] podrían estar resueltas con la técnica del aterrajado

usados en el enfoscado o incluso del revocado, tales como:

> . . . Ya oreada esta base se realizará un rehenchido, esto es, se lanzará con la paleta una pasta clara . . . Utilizando la terraja fina se da la primera capa de revoco . . . Otro rehenchido, tras el oreo de éste, con la terraja se aplica de nuevo. Conviene repasar para aproximarse a la forma antes de iniciar el revoco. (Gárate 1999, 86)

> . . . Se aplicará en la cornisa un revoco liso lavado imitando cantería . . . Para ello se preparan unas terrajas menores despiezando la silueta moldura en piezas no mayores de 30 ó 35 cms. provistas de mango. . . estas piezas son realmente talochas molduradas aptas para repretar. Para el refinado se utilizará según la forma el paletín de bruñir o la cuchara . . . Cuando se oree y no haga hilos se lava con brocha para tapar poros y uniformar y se expulsan con cepillo las partículas sobrantes. (Gárate 1999, 86)

Probablemente, aquellos artesanos que trabajaron los elementos arquitectónicos aquí tratados pudieron seguir, de forma exclusiva, alguna de estas pautas. O quizás una mezcla. O quizás utilizaron otra técnica local hasta hoy desconocida . . .

Conclusión

Poco a poco se avanza un paso más en el conocimiento de la arquitectura valenciana en general, y en particular la desarrollada en el gótico tardío, y en este caso con especial atención a su faceta constructiva. Lo cual muestra no sólo el desarrollo, desde el punto de vista ornamental, del *art de la pedra* sino también el del *algeps* o *guix*.

La escasez de material documental existente, algunas imágenes gráficas o fotográficas tanto de edificios conservados como desaparecidos, y el gran número de restos arquitectónicos que se están descubriendo, permiten desvelar el interés de estas arquitecturas. Un interés historiográfico, dado por la contribución de este suceso arquitectónico a la constante y evolutiva experimentación e innovación, tanto a nivel técnico como formal, llevada a cabo en toda la arquitectura valenciana del siglo XV. Experimentación que hasta ahora se había centrado en el ámbito de la estereotomía, y que poco a poco se ha ido mostrando también en la traducción de ésta al ámbito de la albañilería. Probablemente esta traducción y la materialización de ciertos elementos arquitectónicos con yeso se desarrollan de forma paralela.

A pesar de la carestía documental, igualmente se hace constar la relevancia del denominado «círculo» de maestros asociados a las obras de Pere Compte, como consecuencia del análisis de un conjunto de edificaciones coetáneas con la obra conocida de este *mestre piquer*. Edificaciones como el Castillo Palacio del Señor en Sot de Ferrer, el Castillo Palacio de Geldo o el Palau Vell de Llutxent, entre otras, parecen ofrecer características de similar naturaleza a las ejecutadas por el maestro.

Los hallazgos de estos elementos arquitectónicos han permitido mostrar la gran variedad de registros formales utilizados en su materialización. Sobretodo

de portadas, ya que son los restos arquitectónicos que con mayor abundancia han llegado hasta nuestros días. No obstante, esta característica hace suponer que el ornato de ventanas se desarrollaría de la misma manera. El análisis formal de estas portadas en las distintas edificaciones examinadas, ha proporcionado datos sobre su posible traza real, teniendo en cuenta el mal estado de conservación, así como el grado de alteración de algunas de ellas. Lo cual permitirá favorecer la labor de restauración de las mismas de una forma más rigurosa.

Dada la gran complejidad de las edificaciones históricas existentes, debido a las transformaciones sufridas, se pone de manifiesto la importancia de las campañas arqueológicas realizadas en las intervenciones. Los trabajos de arqueología han permitido localizar a tiempo algunos de los ejemplares, evitando así su destrucción, ayudando así mismo en la lectura de su metamorfosis.

Especial mención merece el aspecto constructivo, donde a simple vista, se pone de manifiesto de una forma muy peculiar las distintas técnicas de ejecución implícitas en el manejo de un material como el yeso. No exentas, sin embargo, de ciertas incógnitas acerca de cómo nuestros antepasados llegaron a materializar exactamente esta magnífica obra de artesanía.

No obstante, resulta imprescindible profundizar en el conocimiento tanto del material como de las técnicas de ejecución empleadas. No sólo para facilitar la localización de estos elementos en la bibliografía consultada. Sino también, para poder determinar con mayor exactitud su deterioro, y de este modo ser capaces de planificar, de una forma más rigurosa, las técnicas de intervención y conservación sobre los elementos arquitectónicos aquí tratados.

NOTAS

1. Esteve i Blay, A. [et al.] 1997. *El Palau dels Centelles d'Oliva*. Associació Cultural Centelles i Riu-sech. Bibliografía donde aparecen de manera amplia y detallada algunos de los elementos aquí tratados.
2. Gárate (1999) también manifiesta sus dudas con respecto a la autoría, no refiriéndose concretamente a este tipo de elementos arquitectónicos, pero sí en general a trabajos relacionados con el manejo del yeso, atribuyéndolo así a la posible herencia o escuela que dejaran los *moros* en las zonas habitadas por éstos.
3. Así lo confirman por un lado Gárate (1999), y por otro las tantas publicaciones realizadas acerca de las analíticas practicadas a ciertos elementos.
4. Se subraya la importancia de que Tomás Sorell fue también heredero del señorío de Xeldo, y señor de Sot de Ferrer tras su compra en 1464, debido a la abundancia de hallazgos en estas edificaciones.
5. Sebastián de Covarrubias. [1611] 1989. *Tesoro de la lengua castellana española*. Facsímil Editorial Altafulla dirigido por D. Martín de Riquer. Extracto del tratado en referencia al yeso en la publicación de Gárate (1999, 261)
6. Pascual Perder y Gallego. 1853. *El tesoro de albañiles*. Editado en la imprenta de Antonio Martínez en Madrid. Extracto del tratado en referencia al yeso en la publicación de Gárate (1999, 322–331)
7. Bérchez (Bérchez y Jarque 1994) y Zaragozá (Mira y Zaragozá 2003, 1: 141–154) también tratan la importancia de la montea y su desarrollo a partir de la segunda mitad del siglo XV, derivando en « . . . una manera moderna de entender la traza arquitectónica . . . » (Bérchez y Jarque 1994, 28).
8. Zaragozá (Mira y Zaragozá 2003, 1: 155–162) dedica todo un apartado al tema de la seriación y prefabricación de la piedra.
9. Anónimo. 1839. *Secretos raros de artes y oficios*. Tomos III y IV. Editado en Barcelona. Imprenta de José Tauló. Extracto del tratado en referencia al yeso en la publicación de Gárate (1999, 294–295)
10. D.F.B. Y B. 1863. *Manual de albañilería o exposición teórico práctica de las construcciones, fabricación de los materiales y disposiciones legislativas*. Madrid. Extracto del tratado en referencia al yeso en la publicación de Gárate (1999, 332–340)

LISTA DE REFERENCIAS

Anónimo. 1839. *Secretos raros de artes y oficios*. Tomos III y IV. Editado en Barcelona. Imprenta de José Tauló.

Bérchez, J. y Jarque, F. 1994. *Arquitectura Renacentista Valenciana = Arquitectura Renaixentista Valenciana (1500–1570)*. Valencia. Bancaixa. 287 p.

Covarrubias, S. de. [1611] 1989. *Tesoro de la lengua castellana española*. Facsímil Editorial Altafulla dirigido por D. Martín de Riquer.

D.F.B. Y B. 1863. *Manual de albañilería o exposición teórico práctica de las construcciones, fabricación de los materiales y disposiciones legislativas*. Madrid.

Esteve i Blay, A. [et al.] 1997. *El Palau dels Centelles d'Oliva: recull gràfic i documental*. Oliva. Associació Cultural Centelles i Riu-sech. 378 p.

Gárate Rojas, I. 1999. *Artes de los yesos: yeserías y estucos*. Madrid. Editorial Munilla-Lería. 381 p.

Llorente y Olivares, T. [1887] 1980. *Valencia. Sus monumentos y artes, su naturaleza e historia*. Tomos 1 y 2. Valencia. Editorial Daniel Cortezo. Facsímil de Albatros Ediciones. 551 p. (vol. 1)

Martínez Aloy, J. (Dirigido por F. Carreras y Candi) 1920–27. *Geografía general del Reino de Valencia. Provincia de Valencia.* Vol. 2 Barcelona. Ed. Alberto Martín, S.A.

Martínez Camps, C. y Vila Gorgé, A. 2000. *Informe preliminar de la intervención arqueológica en Palau Vell.* Consellería de Cultura Educación y Ciencia de la Generalitat Valenciana.

Mira, E y Zaragozá Catalán, A [et al.]. 2003. *Una Arquitectura Gótica Mediterránea.* Vol. 1. Valencia. Consellería de Cultura i Educació, Subsecretaria de Promoció Cultural. 192 p.

Mira, E y Zaragozá Catalán, A [et al.]. 2003. *Una Arquitectura Gótica Mediterránea.* Vol. 2. Valencia. Consellería de Cultura i Educació, Subsecretaria de Promoció Cultural. 216 p.

Perder y Gallego, P. 1853. *El tesoro de albañiles*. Editado en la imprenta de Antonio Martínez en Madrid.

Pérez i Moragón, F. y Jarque, F. 1991. *Arquitectura Gótica Valenciana.* Valencia. Bancaja. 246 p.

Rodrigo Lizondo, M. 1978. *El castillo de Albalat dels Sorells en el siglo XV. Noticias de un inventario de la época*. Valencia Atracción.

Sarthou Carreres, C. (Dirigido por F. Carreras y Candi) 1920–27. *Geografía general del Reino de Valencia. Provincia de Castellón.* Vol. 5 Barcelona. Ed. Alberto Martín, S.A.

Vicenç M. Rosselló [et al.]. 1991. *Palau de l'Almirall.* València. Conselleria d'Economia i Hisenda. 192 p.

Zaragozá Catalán, A. 2000. *Arquitectura Gótica Valenciana: siglos XIII-XV.* Valencia. Generalitat Valenciana, Consellería de Cultura i Educació. 244 p.

V.V.A.A. 1983. *Catálogo de Monumentos y Conjuntos Históricos de Comunidad Valenciana = Catàleg de monuments i conjunts de la Comunitat Valenciana*. Valencia. Servicio de Patrimonio Arquitectónico. 2 vol. —en adelante CMCHCV.

El proyecto de armaduras de madera en los tratados franceses hasta el siglo XIX

M. Isabel Gómez Sánchez

Los textos históricos representan una fuente de datos de primer orden para conocer las soluciones empleadas por los antiguos constructores y los métodos de proyecto que utilizaban en la práctica, máxime cuando se trata de construcción en madera, en que buena parte de las obras se ha perdido.

Por su abundancia, facilidad de trabajo y versatilidad, la madera ha sido utilizada desde antiguo. Sólo en edificación incluye tres de los grandes sistemas estructurales de las construcciones: armaduras de cubierta, forjados y entramados verticales. Y aunque su importancia no siempre se ha visto reflejada en los textos adecuadamente,[1] pese a la notable evolución que tuvo lugar a lo largo de los siglos XVII y XVIII, encontramos referencias sobre construcción con madera desde tiempos de Vitrubio.

Los tratados suelen incluir por un lado algunos contenidos técnicos (inicialmente apenas alusiones a las propiedades del material y a medida que se desarrolló el cálculo científico, indicaciones sobre comportamiento resistente, primero de elementos como las vigas y sólo a partir del siglo XIX, de algunas estructuras); y por otro, tipos y soluciones constructivas, que permiten apreciar los empleados en cada momento y su evolución en el tiempo.

Las armaduras de cubierta ocupan el capítulo más extenso.[2] El proyecto de armaduras requiere la toma de decisiones sobre tipos a emplear, geometría y situación de elementos y su dimensionado final. Con el deseo de orientar la práctica constructiva, los textos recogen consejos sobre las soluciones más convenientes en cada caso, reglas de trazado y propuestas de dimensionado.

- La elección de tipos está condicionada por los requerimientos resistentes de las estructuras (pendientes y luces en el caso de las armaduras de cubierta) y la disponibilidad de madera. En este sentido, el desarrollo de estructuras de tijeras trianguladas con correas que se observa desde el Renacimiento y los tipos resueltos con piezas pequeñas, se entienden obligados tanto por el aumento de la escala de las edificaciones y la reducción de altura de las cubiertas, como por el deseo de lograr obras con menor gasto de material.
- Las reglas de determinación de la pendiente de las cubiertas aparecen en casi todos los tratados, así como consejos sobre soluciones constructivas y valores concretos de dimensiones de piezas que garanticen la estabilidad de las obras.

Los textos

Las armaduras de madera están presentes en distintos tipos de textos: por supuesto en los tratados específicos de carpintería, pero igualmente en los manuales de construcción práctica y las obras generales de arquitectura, así como en informes y escritos de carácter científico.

Hasta el Renacimiento apenas se tiene constancia de mínimas referencias en el álbum de dibujos de Villard de Honnecourt (1235),[3] que recoge tipos del norte de Europa como las armaduras de palomillas. La construcción medieval no ha dejado indicaciones escritas sobre los métodos de proyecto de los carpinteros. Habrá que esperar hasta el siglo XVII para encontrarlas en tratados como los de López de Arenas en España y Mathurin Jousse en Francia.

El siglo XVI

Durante el siglo XVI el país que domina la producción de textos de arquitectura es Italia. Y mientras algunos autores como Alberti cuestionan el empleo de la madera en construcción, alegando problemas de durabilidad y solidez, otros como Serlio y Palladio aprovechan las ventajas que ofrece por su flexibilidad y facilidad de trabajo. Suelen proponer reglas de dimensionado proporcional a partir de modelos de estructuras construidas; y tipos adaptados a pendientes reducidas como los de celosías de Palladio, junto a los clásicos de pares para pendientes elevadas utilizados en Europa en general.

En Francia, el primer texto que dedica especial atención a la construcción en madera es la obra de Philibert de L'Orme.[4] Es de hecho el primer tratado específico de carpintería que se conoce. Pero curiosamente no presenta los usos tradicionales del oficio, sino la propuesta de un nuevo sistema de carpintería muy alejado de éstos. Y como «método» de dimensionado se limita a recomendar valores correspondientes a casos concretos.

El siglo XVII

En el siglo XVII en Francia existen diferencias notables entre los primeros tratados y los aparecidos a finales de siglo, que afectan tanto al carácter de los textos como a las soluciones que describen.

Dentro del primer tercio de siglo destacan los tratados generales de Le Muet (1623) y Savot (1624),[5] y el específico de construcción en madera de Mathurin Jousse (1627),[6] el primero que recoge las prácticas de la carpintería tradicional francesa. Todos ellos proponen armaduras medievales de pares con pendientes muy elevadas.

Entre las obras de finales del XVII en las que la carpintería de armar ocupa un lugar relevante destacan el *Cours d'Architecture* de D'Aviler y especialmente *L'Architecture Pratique* de Bullet (ambos publicados en primera edición en 1691).[7] Junto a estructuras tradicionales, comienzan a valorar el empleo de armaduras de tijeras con correas y la reducción de altura de las cubiertas.

El siglo XVIII

En el siglo XVIII encontramos referencias sobre construcción en madera en distintos tipos de textos franceses:

1. En los tratados específicos de Mathias Mesange y Nicolas Fourneau.[8] El de Mesange se limita a reunir indicaciones de textos anteriores; el de Fourneau se centra en el tema de la estereotomía de la madera. Ninguno de los dos aporta nuevos tipos ni métodos de proyecto de armaduras.
2. En tratados militares como el de Belidor (1729).[9] Con finalidad utilitaria, además de claros, concretos y sistemáticos, son los primeros textos que incluyen contenidos técnicos y justifican sus reglas. Cuestionan las prácticas habituales y suelen insistir en la importancia del dimensionado estricto en madera, alegando razones tanto económicas como resistentes.
3. En los numerosos tratados de construcción práctica de esta época. Entre ellos podemos incluir los de Briseux y Jombert (1729–1764), Patte (1769) y Camus de Mézières (1781).[10] Comparten su vocación de manual y la preocupación por cuestiones resistentes. Siguiendo el modelo de la obra de Bullet, resumen todo aquello que consideran necesario para poder construir: indicaciones sobre estructuras y soluciones, ordenanzas, precios y propuestas de dimensionado.
4. En los textos didácticos de las *Écoles*. La fundación de las Academias francesas supuso la aparición desde finales del siglo XVII de un tipo de publicación didáctica que recoge las clases impartidas en ellas.[11] Presentan soluciones al uso e incluyen las reglas de trazado y dimensionado empleadas en la práctica, pero tampoco proponen nuevos tipos ni sistemas de proyecto.

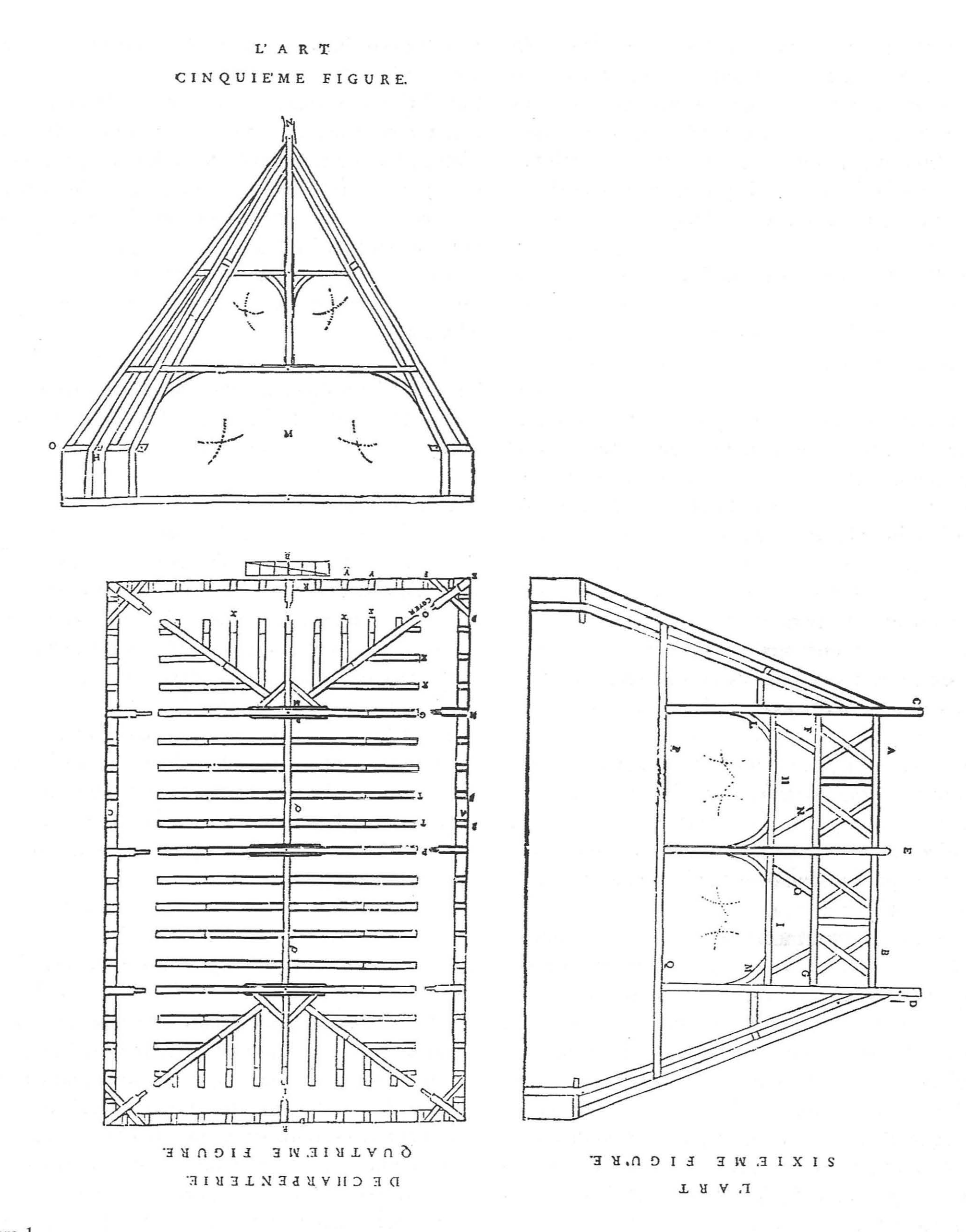


Figura 1
Estructura de pares con armaduras maestras y simples del tratado de Mathurin Jousse

5. En las grandes obras enciclopédicas.[12] Destacan por su carácter globalizador y compilatorio y la riqueza de su parte gráfica. Y aunque aportan datos sobre la evolución de los tipos y los sistemas constructivos, al recoger soluciones *anciens* junto a las *modernes* del momento, sus propuestas resultan muy conservadoras.

6. En publicaciones que analizan la resistencia de la madera, como el específico *Traite de la force des bois* (1782) de Camus de Mézières y el desarrollo de la teoría de flexión de vigas y del cálculo experimental. La mayoría de ellas están recogidas en las *Mémoires* de la Academia de Ciencias en forma de artículos.[13]

En todos los casos se aprecia la evolución de la estructura y calidad editorial de los textos, pero no tanto la de sus contenidos: ni los tipos ni los métodos de proyecto que proponen difieren sustancialmente de los que ya aparecen en el tratado de Bullet. Acostumbran incluir glosarios de términos y catálogos de soluciones de la época, así como análisis críticos de las prácticas tradicionales, y sólo a partir de la segunda mitad del XVIII, algunas propuestas nuevas con cierto fundamento y justificación técnica.

La evolución de los tipos

De las armaduras de pares a las estructuras de cerchas con correas

La evolución de tipos se refleja en primer lugar en el progresivo abandono de las armaduras de pares en favor de las de tijeras trianguladas con correas, que consumen menos material y permiten salvar luces mayores. Así lo reflejan los tratados franceses a lo largo del siglo XVII.

Las obras de Le Muet, Savot y Mathurin Jousse describen soluciones de pares (fig. 1), si bien presentan algunas diferencias respecto a las que recoge el tratado de López de Arenas en esta misma época en España.[14] En las cubiertas francesas, determinados elementos, las denominados *maîtresses fermes*, se especializan para recibir las piezas de arriostramiento transversal del conjunto. Se trata de una solución intermedia entre las estructuras de pares simples, en las que no existe jerarquía de armaduras, y las de cerchas con correas.

Ya D'Aviler y Bullet se decantan claramente por el empleo de armaduras con correas; y en el XVIII, aunque algunos tratadistas continúan incluyendo soluciones de pares, las recogen pretendiendo hacer historia de la construcción, pero todos son conscientes del avance que suponen las estructuras de cerchas con correas.

Las armaduras abovedadas de L'Orme

Las armaduras de arcos enclavijados de Philibert de L'Orme representan, junto con las celosías de Palladio y el forjado entramado de Serlio, los tres tipos de soluciones desarrolladas en el Renacimiento para resolver estructuras de madera con elementos pequeños. Dan respuesta a uno de los grandes problemas con los que históricamente se ha encontrado la carpintería de armar: la escasez de piezas de gran tamaño.

Aparecen en los textos franceses del siglo XVIII hasta el desarrollo de la propuesta alternativa de Émy en el XIX,[15] como forma de resolver estructuras abovedadas ligeras. Para su proyecto, los tratados incluyen algunas reglas de trazado e indicaciones sobre dimensionado y situación de elementos, que no varían hasta tiempos de Rondelet (1802–10).

El caso general se resuelve con armaduras de medio punto: se construyen con arcos de dos hojas, formados por tablas encamonadas de apenas una pulgada de grueso y ocho de canto; la separación entre arcos será del orden de dos pies y los cuartos de limas cuadrados.

En la solución de forjados de gran luz sobre arcos diafragma que propone Philibert como alternativa a los forjados sobre vigas en el Libro Segundo de su tratado, describe arcos de altura entre 1/6 y 1/8 de la luz, con hasta tres hojas de tres pulgadas de espesor y pie y medio de canto.

De las armaduras a dos aguas a las quebrantadas

Tanto en la edición del tratado de Savot revisada por Blondel en 1685, como en la de 1681 del propio Le Muet se añade un nuevo tipo que aparecerá en todos los tratados franceses hasta el siglo XIX: la armadura quebrantada (conocida popularmente en la época como «mansardas», al haberse atribuido a Mansard durante largo tiempo su autoría). Se trata de una solución que mejora la habitabilidad de los espacios de desván, reduciendo la altura excesiva de las cubiertas y puede construirse utilizando maderas de menores dimensiones que las de las armaduras a dos aguas (fig. 2).

Se convirtió en un tipo muy popular en Francia hasta el siglo XIX, desde donde fue exportado a España (no así a Inglaterra, en donde autores como John

310 L'ARCHITECTURE

en longueur autant que le corps de logis a de largeur, & environ une huitiéme partie davantage. Ceux pour la tuile sont un peu moins longs que le corps de logis n'est large, on leur donne ordinairement quatre pouces en quarré.

usage s'est aboly petit à petit depuis que l'on a trouvé l'invention des toits recoupez à la Mansarde, de laquelle feu Monsieur Mansard, illustre Architecte, est l'inventeur, & la pensée luy en est sans doute venuë de l'assemblage des bois de charpente, que le Sangallo Architecte qui vivoit il y prés de deux cens ans, avoit figurée pour faire les cintres des voûtes de Saint Pierre de Rome, & dont Miguel-Ange Bonarote s'est ensuite servy au même sujet. Nous avons la figure de ces toits recoupez à la Mansarde dans le Palladio de Monsieur le Muet que j'ay crû devoir ajoûter en ce lieu.

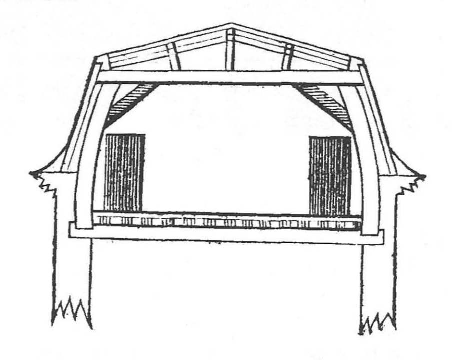


Figura 2
Única lámina de la edición de 1685 del tratado de Louis Savot, revisado por Blondel. Presenta el tipo de moda en Francia durante el siglo XVIII: la armadura quebrantada

Muller a mediados del XVIII criticaron abiertamente su falta de interés como estructura resistente).[16]

En el tratado de Bullet quedan definidas las estructuras que presentan los textos franceses durante todo el siglo XVIII. Variarán las pendientes, algunas soluciones de encuentro y las escuadrías recomendadas, pero no los tipos básicos, que pueden agruparse en tres categorías (fig. 3):

- Armaduras tradicionales a dos aguas;
- Estructuras quebrantadas;
- Soluciones a dos aguas con pares divididos y puente (entre las que se incluyen las conocidas desde el tratado de Le Muet como armaduras sobre *jambes de force*, denominadas así por curvar el par inferior). Desde el punto de vista resistente son similares a las quebrantadas.

REGLAS DE TRAZADO

La primera decisión de trazado que es preciso adoptar para proyectar armaduras es la pendiente a utilizar. Su valor está condicionado por factores tanto objetivos (las condiciones climáticas limitan su valor en último término, pero hay que tener en cuenta igualmente el material de cubierta empleado) como estéticos en algunas ocasiones, y va ligada a la elección de los posibles materiales de cubierta.

En cualquier caso, la pendiente determina el comportamiento resistente de las estructuras, por lo que no puede separarse de la elección de tipos. En este punto los presentamos separadamente sólo por razones metodológicas.

La reducción de altura de las cubiertas

Las cubiertas que describen los tratados del primer tercio del siglo XVII son soluciones tradicionales de pendientes muy elevadas. Tanto Mathurin como Le Muet y Savot proponen trazarlas utilizando el perfil del triángulo equilátero (60º) o tomar como altura el valor del ancho del vano a cubrir (63,43º).

Pero desde la segunda mitad del siglo, comienza a criticarse la altura excesiva de las cubiertas de los «antiguos», y se aconseja reducirla. Las reglas de trazado recogen estos cambios: desde el tratado de Bullet se propone inscribir las armaduras en una semicircunferencia de diámetro igual a la luz, con lo que las pendientes de las soluciones a dos aguas pasan del entorno de los 60º a los 45º.

A lo largo del XVIII, difundido el empleo de estructuras casi exclusivamente de cerchas con correas, capaces de resistir los empujes que implica la reducción de pendiente, continúa la disminución progresiva de la altura de las cubiertas:

- Briseux (1729) recomienda el valor [1–1/6] ˇ 1/2 (39,8º); Belidor (también en 1729) 2/3 (33,7º).

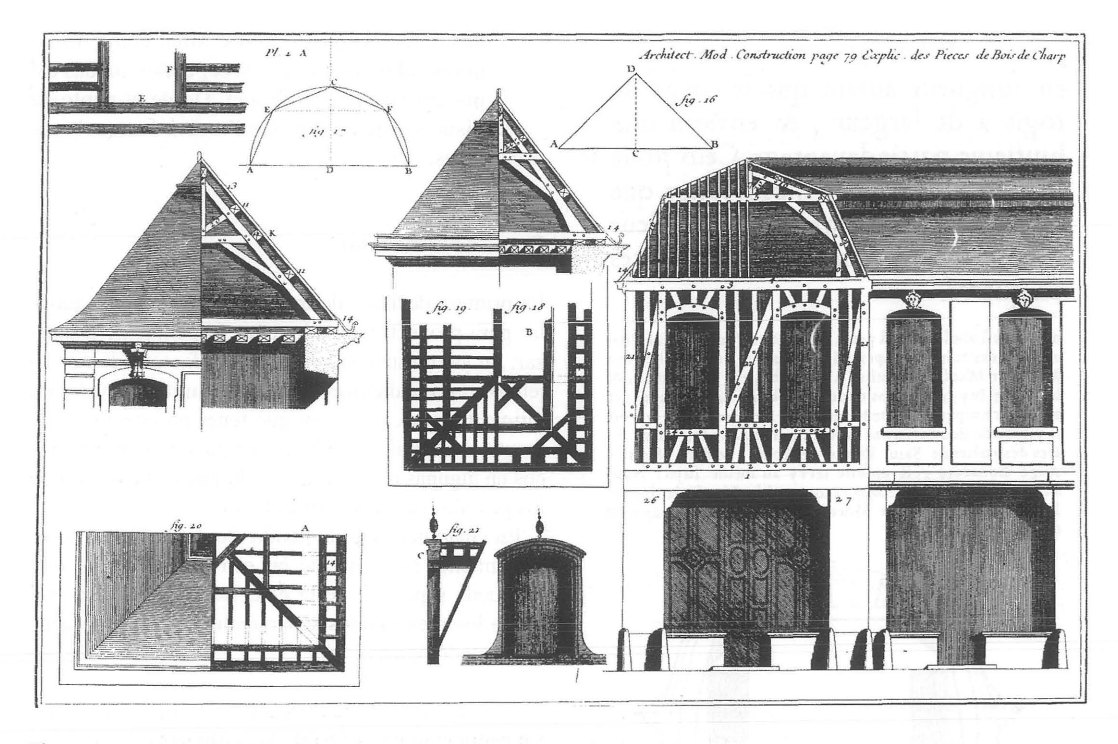


Figura 3
Lámina de construcción en madera del tratado de Jombert. Incluye reglas de trazado y los tres tipos básicos de armaduras de faldones planos: soluciones a dos aguas (con pares enterizos y divididos) y quebrantadas o mansardas.

- La *Encyclopédie* de Diderot y d'Alembert (1751–77) propone entre 1/3 y 1/2 (de 33,7° a 45°) para las cubiertas de teja.
- Jombert (1764), entre 1/3 (33,7°) para teja (valor que coincide con el que recoge Duhamel du Monceau en la Enciclopedia de los Oficios en 1766) y 31/7 (40,6°) para las de pizarra.
- Camus (1782) dando la regla general más difundida en la época, aconseja tomar la media proporcional entre 1/3 y 1/4 del vano (30,1°).

Para definir el trazado del perfil de las armaduras los textos prácticos suelen proponer sencillas reglas geométricas. Obtenidas desde antiguo a partir del análisis de obras probadas, incluso cuando ya en el siglo XIX comienzan a tener algún fundamento técnico, buscan su traducción a recetas geométricas de fácil aplicación. El propio Rondelet aun cuando trata de analizar críticamente las soluciones anteriores, continuará proponiendo reglas de tiempos de Bullet o Mathurin.

Reglas de trazado de armaduras «mansardas»

La reducción de altura de las cubiertas también se refleja en el caso de las quebrantadas. Bullet divide la semicircunferencia circunscrita en cuatro partes iguales y sitúa los quiebros en los centros de cada cuadrante. Se obtiene de esta forma una cubierta con faldones de 67,5° y 22,5° de pendiente. Esta regla, junto con la de cinco partes de Belidor (que proporciona pendientes de 72° y 27°), es la que aparece con más frecuencia en los tratados hasta el siglo XIX.

Y no son las únicas: la abundancia de reglas de trazado de armaduras quebrantadas es destacable. Buscan en general aumentar la pendiente de la falsa armadura (la zona correspondiente a los faldones superiores), para evitar el problema que supone la retención de nieve, disminuyendo lo menos posible el espacio de desván.

En España, el padre Rieger (influido por los textos franceses) incluye la propuesta de Bullet, una arma-

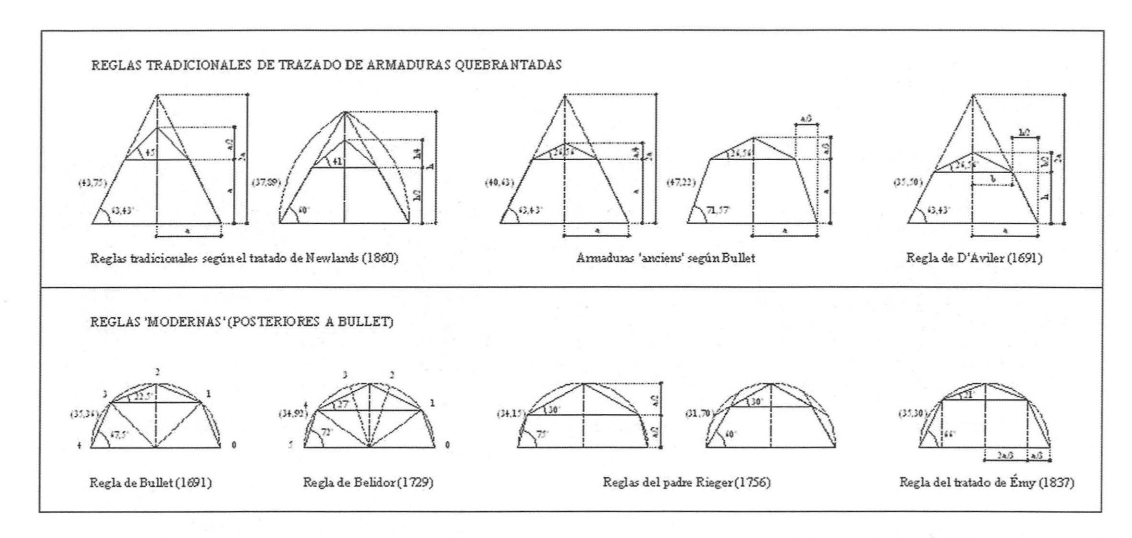


Figura 4
Reglas de trazado de armaduras quebrantadas, en las que se observa la disminución progresiva de la altura de las cubiertas. Entre paréntesis, superficies ocupadas en sección por cada una de ellas

dura inscrita con quiebros a media altura (cuyos faldones tienen 75 y 30º, con lo que empeoran la habitabilidad total y la luz de la falsa armadura, pero mejora sensiblemente su pendiente) y una solución alternativa en la que se fijan las pendientes en 60º y 30º, pero sin inscribir los quiebros.[17] Es de las pocas reglas que parecen anteponer el comportamiento resistente a la búsqueda del aprovechamiento del espacio útil (fig. 4).

Reglas de situación de elementos

Definida la pendiente de la cubierta y el tipo estructural que se va a utilizar, es preciso situar las piezas, tanto las que forman las armaduras como los elementos de arriostramiento transversal. Los textos prácticos acostumbran proponer reglas geométricas en el primer caso, y valores concretos de separaciones en función de la luz y la carga como fórmula de determinación de la separación entre elementos resistentes.

Para las armaduras son frecuentes las reglas de situación de nudillos o puentes (que suelen dividir en números enteros de partes iguales bien los pares, la altura o la luz libre), y las de jabalcones y elementos de arriostramiento en su plano (fig. 5).

También en este caso existen algunas diferencias entre las soluciones francesas y las descritas por los carpinteros de lo blanco en España.

Las armaduras de pares españolas utilizan el almizate como estructura de arriostramiento transversal; en las cubiertas francesas esta función se suele realizar en el plano vertical de la hilera (tanto en armaduras tradicionales de *maîtresses fermes* como en otras posteriores de cerchas con correas).

En ambos países se prefieren en general las soluciones de limas a las apoyadas en muros piñón. Pero los textos franceses desde Le Muet insisten en que el faldón testero ha de ser más pendiente que los laterales y siempre tendrá mangueta central para arriostrar la estructura; frente a las armaduras españolas de pares, en las que se cuida que el cuarto de limas sea cuadrado, de modo que péndolas y manguetas coincidan en su encuentro con las limas.

PROPUESTAS DE DIMENSIONADO

Los manuales de construcción proponen para el dimensionado de armaduras relaciones de escuadrías correspondientes a cada uno de los elementos de las estructuras empleadas en los supuestos habituales, y

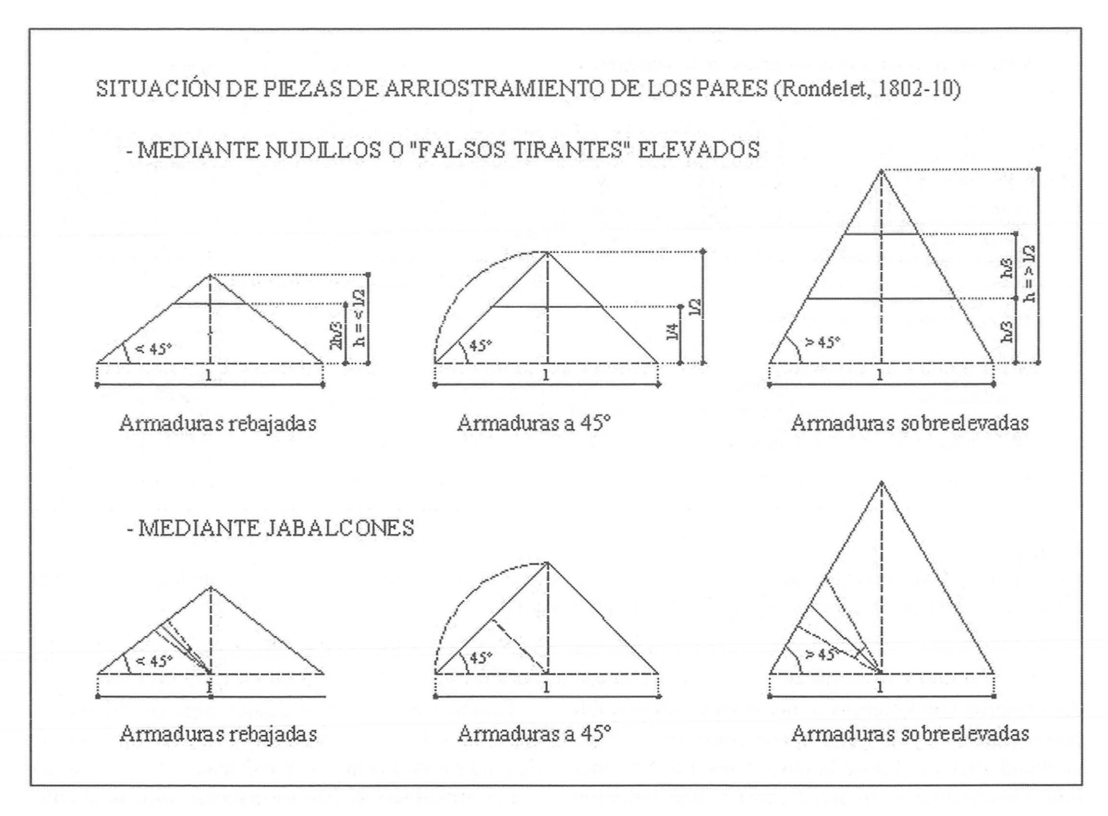


Figura 5
Reglas de situación de elementos del tratado de Rondelet

en el caso de las vigas, tablas de secciones calculadas en función de la luz de las piezas. Pero durante los siglos XVII y XVIII, todavía se hallan muy alejadas de las investigaciones teóricas de los científicos; su origen es eminentemente empírico, y su carácter más práctico que técnico.

Los «métodos» de dimensionado práctico

Desde el tratado de Savot (1624) los textos de construcción práctica incluyen tablas con secciones de piezas correspondientes a supuestos concretos. Recogen los cambios experimentados en los tipos, y el aumento progresivo del tamaño de las armaduras: así por ejemplo, frente a la propuesta de 4 toesas (24 pies) de luz de Savot (resuelta con una armadura de tijeras con correas, del tipo descrito por Le Muet como de *jambes de force*), Bullet (1691) ofrece valores correspondientes a soluciones de 27 pies; Jombert y Belidor (1729) lo hacen para armaduras de 30 pies; con Camus de Mézières (1781) se llega a luces de hasta 6–7 toesas (36–42 pies).

Pero los valores aconsejados no ofrecen otra justificación sino la experiencia probada de los constructores. No existe método de dimensionado, ni fórmulas de cálculo hasta finales del siglo XVIII, momento en el que algunos tratadistas como Camus comienzan a aconsejar valores igualmente concretos pero calculados a partir de resultados de ensayos.[18]

Y sólo a principios del XIX textos prácticos como el de Rondelet sustituyen las relaciones de escuadrías por reglas proporcionales expresadas en función del tamaño de las estructuras. Recomienda

cantos de entre 1/18 y 1/24 de la luz para elementos horizontales (1/12 si las cargas son grandes) y valores intermedios para piezas oblicuas (1/15 en el caso, por ejemplo, de los pares). Hasta este momento, en ocasiones los valores propuestos en las tablas difieren incluso de los resultados de ensayos que recogen algunos textos en los capítulos dedicados a las propiedades de los materiales de construcción.

Dimensiones recomendadas

1. Elementos resistentes. En las cubiertas tradicionales francesas del XVII (armaduras con *maîtresses* y *simples fermes*) las armaduras maestras ofrecen apoyo a las *simples* por intermedio de riostras horizontales. Ello unido al empleo de maderas de mejor calidad lleva a que las separaciones entre pares que aconsejan los tratados sean mayores que las correspondientes a los textos de carpintería de lo blanco en España. Frente a la distribución «a calle y cuerda» de los textos españoles, los franceses proponen distancias entre 16 pulgadas y 2 pies (que proporcionan distribuciones de cuatro y tres cabios *á la latte* respectivamente) dependiendo del peso del material de cubierta.

Para las estructuras con correas, las separaciones entre armaduras resistentes que se recomiendan son valores discretos y se mantienen sin apenas variaciones hasta mediados del siglo XVIII: entre 9 y 12 pies aconsejan los tratados franceses de Mathurin a Jombert (valor que, en España, García Berruguilla importa y traduce a varas).[19] También en este caso sólo a partir de la obra de Camus experimentan un notable aumento hasta los 18–20 pies.

El grosor de las vigas y elementos que trabajan flexionados en los entramados de madera se determina en función de la longitud de las piezas. Para ello, los textos prácticos suelen incluir tablas de escuadrías: desde la empírica de Bullet (fig. 6)[20] hasta las obtenidas aplicando la teoría de flexión de Galileo y resultados de ensayos a finales del XVIII.

Los ensayos realizados en esta época determinan casi exclusivamente la resistencia a flexión en vigas. A partir de ellos se obtienen tablas de secciones para piezas horizontales. Y sólo en textos como el de Blondel se propone dimensionar algunos elementos de las armaduras partiendo de estos resultados.[21]

Dimensionado de vigas				
Luz: l (pies)	Ancho: b (pulgadas)	Alto: h (pulgadas)	x = l/b	h/b
1			14,4	1,2
	10	12		
2			16,36	1,18
	11	13		
15			18	1,25
	12	15		
18			19,38	1,23
	13	16		
21			(1,33)	
	(13½) 14	(27)		
24			20,5	1,29
	15	19		
27			21,6	1,27
	16	21		
30			22,5	1,31
	17	22		
33			23,29	1,29
	18	23		
36			24	1,28
	19	24		
39			24,63	1,26
	20	25		
42			25,2	1,25

El valor b = 13½ corresponde a los tratados desde Bullet (1691) hasta Mesange (1753), que lo corrige por b = 14.

Figura 6
Valores de la tabla de secciones de vigas que aparece por primera vez en el texto de Bullet (atribuida a La Hire por H. Gautier, *Traité des ponts*, París: Chez A. Cailleau, 1716)

Hasta este momento los tratados se limitan a incluir relaciones concretas de dimensiones.

En todos los casos, se distinguen no más de cuatro órdenes de piezas:

- Las que forman la estructura resistente de las armaduras: entre 8 y 9 pulgadas propone Bullet para pares, nudillo, correas y pendolón en estructuras de 27 pies (tanto a dos aguas, con pares enterizos o divididos, como quebrantadas);
- Los elementos de arriostramiento: desde las 7–8 pulgadas de los jabalcones del nudillo, hasta las 5–7 de los de la hilera sobre el pendolón;
- Los apoyados (cabios de 4 ˇ 4 pulgadas);
- Y las vigas de atado, que son las piezas más robustas (15–19 pulgadas en el caso de Bullet), pues no sólo están colocadas horizontalmente sino que se prevé tengan que soportar además el peso de un forjado.

Para luces distintas, se aconseja calcular valores proporcionales a partir de los anteriores.

2. Elementos no resistentes. En piezas de dimensiones fijas o que no han de soportar cargas, las reglas son fijas e independientes del grueso de éstas: valga como ejemplo el de los cabios de las armaduras, para los que todos los textos hasta el siglo XIX proponen 4 pulgadas de escuadría y separaciones de 16 pulgadas a 2 pies.

Contenidos técnicos de los textos

En los textos prácticos la preocupación por el dimensionado estricto de las estructuras se generaliza entre los tratadistas franceses del XVIII, que ponen de manifiesto el gasto innecesario al que conducen en general las reglas empíricas tradicionales. Se toma conciencia de que el desarrollo de soluciones requiere fundamento técnico, y los textos comienzan a incluir estudios sobre resistencia de la madera.

Los tratados de arquitectura militar son los primeros que presentan resultados de ensayos y modelos teóricos de flexión de piezas. Pero no es hasta el último tercio de siglo cuando autores como Camus de Mézières revisan las tablas tradicionales de dimensionado aplicando las teorías desarrolladas hasta la fecha y los resultados de ensayos.

Pero la evolución de las teorías (y por tanto estos contenidos) encontró grandes dificultades desde sus orígenes. En el caso de la flexión en vigas se intentó adoptar modelos de distribución lineal de tensiones, que difícilmente coincidían con los resultados de los ensayos, al no considerar el comportamiento no elástico del material. De ahí que se recurriese a emplear fórmulas pseudo-empíricas para calcular resistencias y establecer reglas de dimensionado.

No será hasta el siglo XIX cuando se señale la imposibilidad de aceptar un modelo único y se tenga en cuenta el carácter no-lineal de la deformación y la influencia de la duración de la carga. Autores como Hassenfratz (*Traité de l'art du charpentier*, de 1804) incluyen análisis técnicos y valoraciones críticas de las teorías y experiencias anteriores, una práctica que pasa a ser habitual a partir de este momento en los capítulos sobre madera de los textos técnicos.

Conciliando la finalidad práctica con el análisis técnico, el proyecto de armaduras comienza a buscar fundamento científico a sus propuestas, se afina el cálculo y las estructuras evolucionan hacia nuevos tipos y mayores dimensiones en general.

Conclusiones

Desde las armaduras tradicionales de pares, se observa una evolución de los tipos hacia estructuras más racionales desde el punto de vista tanto de economía de material, como de lógica resistente. Las armaduras de cerchas con correas y las resueltas con piezas pequeñas que se desarrollan a lo largo de los siglos XVII y XVIII así lo demuestran.

En todo caso, las nuevas propuestas conviven durante largo tiempo con las soluciones probadas, hasta no haber sido validadas por la experiencia, y así lo recogen los textos históricos.

Los métodos de trazado que presentan los tratados de construcción práctica son, en general e independientemente de la evolución de tipos, reglas geométricas que relacionan las variables principales (fundamentalmente alturas y luces, y por lo tanto pendientes, en el caso de las armaduras de cubierta) determinadas a partir de obras construidas. Mediante reglas de proporción se define la geometría de cada tipo:

- la geometría general de las armaduras;
- la disposición de los elementos en su plano;
- y la de las piezas de arriostramiento.

Aunque se producen variaciones importantes en el tiempo en la forma y disposición de los elementos, que reflejan la evolución de tipos, y las reglas se adaptan para recogerlas, su formulación continúa siendo la tradicional: en todos los casos, reglas geométricas simples.

También las propuestas de dimensionado de los textos quedan determinadas por la experiencia profesional de los constructores, y sólo en ocasiones puntuales y muy tardíamente se utilizan los conocimientos científicos de que se dispone para la revisión de las prácticas habituales.

Durante el período considerado, los textos prácticos en el mejor de los casos y apenas a partir de la segunda mitad del siglo XVIII, tratan de encontrar formulaciones matemáticas simples con las que expresar los conocimientos de resistencia de materiales. Sólo desde principios del XIX se incluyen las primeras reglas proporcionales.

Los tratados de construcción incluyen relaciones de secciones de piezas correspondientes a los casos comunes, obtenidas empíricamente. Las estructuras evolucionan y aumentan las dimensiones de las ar-

maduras, pero se mantiene la ausencia de «método» de dimensionado.

Y pese a los avances experimentados, los textos continúan presentando propuestas tradicionales sin fundamento teórico, pero probadas por la experiencia (como la tabla de secciones de vigas de Bullet) incluso a lo largo del siglo XIX.

NOTAS

1. El tema de la estereotomía de las estructuras de piedra, indudablemente más complejo que el del trazado de armaduras, ocupó desde antiguo muchas más páginas que toda la carpintería en conjunto.
2. El término «armadura» hace referencia al armazón con que se cubre una estancia, en condiciones de recibir la cubierta o techumbre. Se utiliza especialmente para referirse a las soluciones de madera, que es el material empleado tradicionalmente con más frecuencia para resolver este tipo de estructuras.
3. A. Erlande-Brandenburg, R. Pernoud, J. Gimpel y R. Bechmann, R. 1986. *Carnet de Villard de Honnecourt*. París: Éditions Stock.
4. La obra de Philibert de L'Orme, *Nouvelles inventions pour bien bastir et a petits fraiz* (París: F. Morel, 1561) supuso en el siglo XVI un anticipo sin precedentes en la literatura sobre construcción en madera. Se trata del primer texto que dedica específicamente dos Libros a este tema. Propone la construcción de armaduras abovedadas formadas por arcos de tablas encamonadas unidas contrapeando sus juntas y separados por listones asegurados con clavijas.
5. Pierre Le Muet. 1623. *Manière de bien bâstir pour toutes sortes de personnes*. París. En segunda edición (1647), *...reveue et augmentée de plusieurs figures de tres beaux Bastimens et Edifices*. París: C. Jombert. Louis Savot. 1624. *L'Architecture françoise des bastimens particuliers*. París. Segunda edición (1685)*...Augmentée de plusieurs Figures, et des Notes de Monsieur Blondel del' Academie Royale des Sciences....* París: Chez la Veuve et C. Clouzier (Impresión facsímil en Ginebra: Minkoff, 1973).
6. Mathurin Jousse. 1627. *Le Theatre de l'art de Charpentier*. La Flèche: Georges Griveau.
7. Augustin-Charles D'Aviler. 1691. *Cours d'Architecture qui comprend les Ordres de Vignole, avec des commentaires, les figures et descriptions de ses plus beaux bâtimens*. París: Nicolas Langlois.
   Pierre Bullet. 1691. *L'Architecture Pratique, qui comprend le detail du Toisé, & du Devis des Ouvrages de Massonnerie, Charpenterie, Menuiserie, Serrurerie, Plomberie, Vitrerie, Ardoise, Tuille, Pavé de Grais & Impression*. París: Chez Etienne Michellet, Impresión facsímil en Genéve: Minkoff Reprint.
8. Mathias Mesange. 1753. *Traité de charpenterie et des bois de toutes especes*. París: Ch. Ant. Jombert; Nicolas Fourneau. 1767–68. *L'art du trait de Charpenterie*. Rouen: Laurent Dumesnil.
9. Bernard Forest de Belidor. 1729. *La Science des Ingenieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile*. París: Claude Jombert.
10. C. Jombert. 1728. *Architecture moderne ou l'Art de bien bâtir pour toutes sortes de personnes tant pour les maisons des particuliers que pour les palais*. París: Claude Jombert; Pierre Patte. 1769. *Mémoires sur les objects les plus importans de l'architecture*. París: Rozet; Nicolas Le Camus de Mézières. 1781. *Le guide de ceux qui veulent bâtir*. París: Benoît Morin.
11. La *Académie des Sciences* de París, fundada en 1666, se ocupa especialmente de publicaciones científicas; la *Académie Royale d'Architecture*, de 1671, de los textos de arquitectura y construcción. Las escuelas técnicas aparecen ya en el siglo XVIII: en 1716 se funda en París el primer departamento gubernamental para el desarrollo científico de la construcción de puentes —el *Corps des Ponts et Chaussées*—, y sólo en 1747 veremos la institución de la primera escuela de ingeniería: la histórica *École des Ponts et Chaussées*. Entre los *Cours* de Arquitectura de la propia Escuela destacan los de F. N. Blondel en el siglo XVII (1675–83) y J. F. Blondel en la segunda mitad del XVIII (1750 en adelante, continuado por Patte, 1771–77). Entre los de las Escuelas de Ingenieros, muy populares en esta época, cabe señalar el de J. N. L. Durand (1802–05).
12. La Enciclopedia de los Oficios de la Academia de Ciencias de París recoge un artículo dedicado al arte del «techador», que incluye algunas indicaciones sobre estructuras de cubierta: H. L. Duhamel du Monceau. 1766. «Art du couvreur», Description des Arts et métiers par l'Ácadémie Royale des Sciences de París, vol. X. La gran *Encyclopédie* de D'Alembert resume todo el saber constructivo del XVIII en Francia: presenta desde entramados autoportantes de tiempos de Mathurin hasta los «modernos» sobre carreras; desde los tipos clásicos de armaduras de Le Muet hasta las quebrantadas francesas del XVIII.
13. En el análisis del comportamiento resistente destacan autores como Varignon (1702), Bernoulli (1705), Parent (1707–10), Couplet (1726–33) y Coulomb (1773). En el cálculo experimental, Mariotte (1620–84), el holandés Muschenbroek (1729), el conde de Bufón y Duhamel du Monceau por sus ensayos de flexión (1742), y Girard por los de compresión (publicados en *Traité analytique de la résistance des solide...* 1798).

14. Diego López de Arenas.1633. *Breve Compendio de la Carpintería de lo Blanco y Tratado de Alarifes, con la conclusion de la regla de Nicolas Tartaglia, y otras cosas tocantes a la Ieometria y puntas del compas*. Sevilla: Luis Estupiñán.
15. El sistema de Émy combina el arco de tablas superpuestas colocadas de plano y la armadura a dos aguas, unidos mediante bridas. Fue propuesto en 1819, llevado a la práctica desde 1825, y descrito por el propio autor tres años después: A. R. Émy. 1828. *Description d'un nouveau système d'arcs pour les grandes charpentes*... París: Lachevardiere.
16. J. Muller. 1755. *Tratado de Fortificación, ó Arte de construir los Edificios Militares, y Civiles.* Tratado de arquitectura militar, traducido al castellano por Miguel Sánchez Taramas en 1769 para la Academia Militar de Barcelona, (de hecho fue el primer texto de este tipo traducido al castellano, pese a la importante influencia de los textos franceses en España en esta época) con fines didácticos y carácter práctico. Propone sencillas reglas aritméticas pero no descuida su carácter técnico. Incluye resultados de ensayos de resistencia en madera y primeros modelos de análisis de vigas flexionadas.
17. P. Ch. Rieger. 1763. *Elementos de toda la Architectura Civil, con las mas singulares observaciones de los modernos, impressos en latín por el P. Christiano Rieger... los quales, aumentados por el mismo, da traducidos al castellano por el P. Miguel Benavente*. Madrid: Imprenta de Joachin Ibarra.
18. Camus es el primer autor que trata el tema del proyecto en madera con cierto rigor técnico. A él pertenece el primer tratado dedicado específicamente al estudio de las propiedades resistentes de la madera (1782. *Traité de la force des bois*, París: Benoît Morin).
19. Juan García Berruguilla. 1747. *Verdadera práctica de las resoluciones de la Geometría*... Madrid: Imprenta de Lorenzo Francisco Mojados.
20. La Hire, en su edición de 1702 del tratado de Mathurin Jousse, Gautier (*Traité des ponts*..., 1716), Belidor (1729), Mesange (1753), Camus de Mézières (1782) o incluso el alemán Schubler (*Zimmermans Kunst*..., 1731) incluyen esta tabla. Algunos textos recogen variaciones (Fourneau, 1767–68) o incluso proponen nuevas reglas (Jombert, 1728); pero presentan también la tabla original, que es la que de hecho se empleaba en la práctica, pese a su falta de fundamento teórico y a que proporciona secciones no demasiado afortunadas para piezas que trabajan flexionadas. El valor medio de la relación tabla/canto de las vigas de Bullet es 1,26, menor que el correspondiente a la sección de momento resistente máximo ($h/b = \sqrt{2}$) valor que sin embargo coincide con el que manejan tradicionalmente los carpinteros de lo blanco españoles al proponer el empleo de la diagonal del cuadrado, y que aparece en los tratados militares franceses desde principios del XVIII expresado igualmente en forma de reglas geométricas sencillas obtenidas empíricamente.
21. J. F. Blondel en su *Cours d'Architecture* propone . . . *dar a las piezas inclinadas 2/3 del grueso que se daría si hubieran de asentar orizontalmente.*

Lista de referencias

Gómez Sánchez, M. Isabel. 2002. *El proyecto de armaduras de madera: 1500-1810.* Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

Gómez Sánchez, M. Isabel. 2006. *Las estructuras de madera en los tratados de arquitectura (1500-1810).* Madrid: AITIM.

El sistema de cimentación por tornillos Mitchell en los embarcaderos españoles del siglo XIX

Concepción González

La explotación de la minería en Gran Bretaña es tan antigua como en el resto de Europa, siendo de especial relevancia las minerías de carbón y de hierro. La aparición de la revolución industrial, a finales del siglo XVIII, unida al esplendor económico del imperio británico y a la estabilidad política del país a lo largo de todo el siglo XIX, aseguraron el resurgir de la ciencia y el desarrollo de la ingeniería, potenciándose el progreso tecnológico.

Inevitablemente, este incremento extraordinario de la producción de mineral conllevaba la modernización de los sistemas de embarque del mismo en los puertos. Se abandonó el lento sistema de barcazas de carga manual, que aproximaban el mineral a los barcos anclados en zonas profundas, y se construyeron en los puertos embarcaderos de proporciones impresionantes, que se adentraban en el mar hasta cotas de suficiente calado, permitiendo que los barcos atracasen en ellos. La ingeniería británica diseñó para ello, a partir del primer tercio del siglo XIX, los primeros prototipos de embarcaderos de mineral, cuya tecnología exportaría luego a los países en los que el Reino Unido tuvo concesiones mineras de importancia, especialmente a España.

Los primeros embarcaderos fueron hechos exclusivamente de madera, con pilotes, vigas y tableros de este material. Ya a mediados del siglo XIX se emplearon pilotes de fundición y vigas de este material y de hierro forjado, consiguiéndose estructuras de mayor fortaleza y durabilidad, que asimismo estudiaremos más adelante.

En general, la imagen de un embarcadero de mineral es la de un artefacto de diseño austero y eficaz, más un objeto industrial que arquitectónico, de gran impacto visual, dada su ubicación en la línea de costa y sus gigantescas proporciones.

Los primitivos embarcaderos se construyeron de madera a principios del siglo XIX, y fueron evolucionando hacia embarcaderos de hierro fundido y forjado a lo largo de este siglo, terminando por construirse de acero y hormigón a principios del siglo XX. Sus diseños eran de gran funcionalidad, buscando conseguir el sistema estructural más barato y duradero que pudiera sostener una plataforma sobre la que maniobraran los trenes de mineral, y resolver el traslado de la carga a los barcos, bien por grúas o por caída libre del mineral desde los vagones hasta la borda de los barcos.[1]

Evolución de los sistemas de cimentación de los embarcaderos británicos de hierro

Los embarcaderos de hierro se construyeron en todas las costas de Gran Bretaña, especialmente en Inglaterra y Gales. Su momento histórico coincidió con el esplendor de la economía británica en el periodo imperial de la Reina Victoria. El turismo hacia las costas era una realidad creciente, y la mayoría de los muelles que se iban a construir hasta finales de siglo serían muelles de ocio. Las posibilidades de la fundición, el hierro forjado y la madera, y la creatividad de

ingenieros y arquitectos, iban a dar como resultado una explosión de creatividad en el mundo de los embarcaderos del Reino Unido, como veremos en otros apartados de este trabajo.

Pero el primer problema a abordar en toda estructura es su cimentación, y especialmente en una estructura costera, en la que las condiciones del terreno y su subsuelo son especialmente difíciles. Los sistemas más utilizados fueron la cimentación sobre plataforma de roca bajo el muelle, la cimentación por pilotes apoyados en la roca por medio de zapatas aisladas, la cimentación sobre cajones rellenos de piedras, la cimentación por cajones o cilindros estancos de hierro, la cimentación por pilotes clavados, y finalmente, la cimentación por pilotes de rotación (sistema Mitchell).

Cuando el ingeniero británico Alexander Mitchell inventó las roscas helicoidales de hierro para acoplar a pilotes de madera, estaba llevando a cabo una verdadera revolución en el sistema de cimentación por pilotes en obras de ingeniería. La invención, patentada en 1834, consistía en unas punteras metálicas a las que se incorporaba un disco de espirales helicoidales, de dos o tres vueltas, de gran saliente y borde cortante que, fijadas a un pilote de madera y al girar éste, hacían que el pilote se introdujera en el terreno hasta la profundidad deseada con gran facilidad y escaso coste (fig. 1).

No obstante, sería en los pilotes metálicos de los embarcaderos y los puentes donde este sistema alcanzaría una aceptación máxima. La ejecución de los elementos helicoidales de fundición o hierro forjado, fundidos en el propio pilote o roblonados fuertemente a él, los hacía solidarios al pilote y permitía penetrar en los terrenos poco compactos con gran facilidad, empotrando el pilote en el subsuelo hasta la profundidad adecuada. Mitchell desarrolló diversos prototipos de punteras helicoidales a acoplar a fustes metálicos y, pronto, la solución de pilotes roscados desplazó a los restantes sistemas empleados hasta esa fecha (fig. 2). La superficie en planta del helicoide dependía de la dureza y compacidad del terreno de forma que, en terrenos blandos, se diseñaban helicoides de gran superficie (las espirales podían tener diámetros de hasta 200 centímetros) que permitían trasladar al terreno, por punta, una carga muy importante. Dependiendo de la resistencia del terreno, la carga por punta llegaba a ser significativa, pudiendo variar desde 1 kg/cm^2 en terrenos fangosos a 10 kg/cm^2 en terrenos

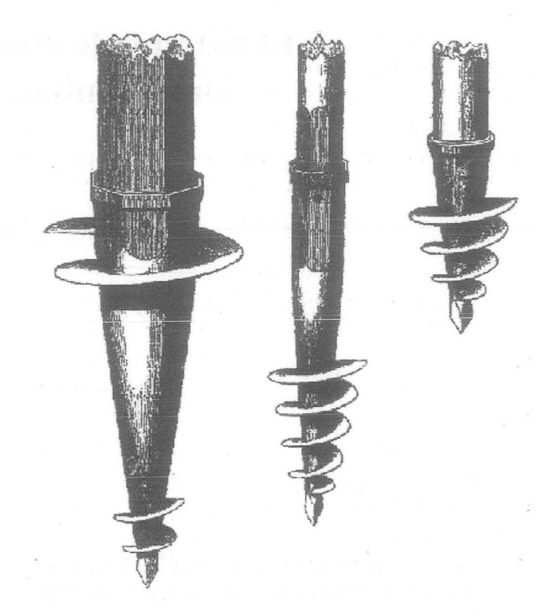


Figura 1
Punteras metálicas de rosca, diseñadas por A. Mitchell, para acoplar a pilotes de madera (Mitchell 1848)

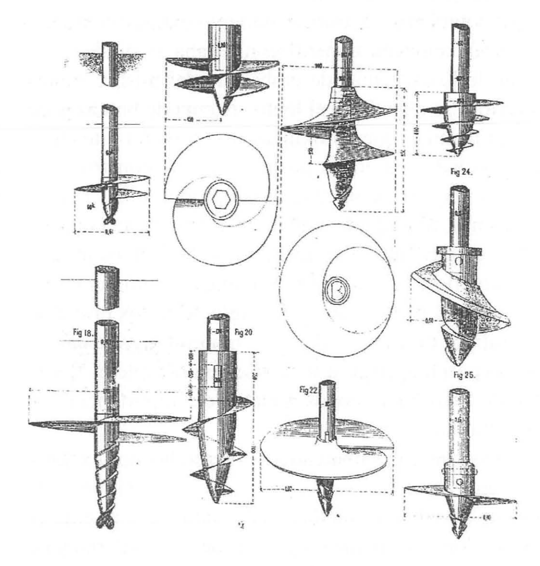


Figura 2
Punteras metálicas de rosca, diseñadas por A. Mitchell, para acoplar a pilotes metálicos (Mitchell 1848)

duros, aplicados a la proyección horizontal de la superficie correspondiente al helicoide.

En el trabajo que presentó Mitchell a la Institution of Civil Engineers londinense al respecto,[2] se expone la importancia del invento, que servía no sólo para las cimentaciones de estructuras de faros y muelles apoyados en terrenos bajo el agua, sino también para fijar al fondo del mar los anclajes a instalar en los puertos costeros para el amarre de los barcos cerca de la costa.

En principio, el atornillado de los pilotes se hacía a mano, mediante coronas de varios brazos que empujaban grupos de hombres andando sobre la cubierta de lanchones o almadías ancladas en el lugar adecuado, una vez replanteada la estructura (fig. 3). El propio Mitchell inventó un ingenioso sistema manual de hincado por rotación de los pilotes en el muelle de Courtown,[3] que él diseñó y construyó en 1847, consistente en que un grupo de hombres, alineados sobre la cubierta que se estaba construyendo, hacían girar un artilugio a modo de corona, ubicado en la vertical del pilote a clavar, y por el que hacían pasar unas cuerdas, de las que los hombres tiraban, consiguiendo la rotación del pilote. Un dibujo ilustrativo de este sistema de hincado (fig. 4) es aportado por Mitchell en el trabajo citado, en el que describe detalladamente el proceso de construcción. Posteriormente se inventaron máquinas a vapor para atornillar los pilotes, que supusieron la mecanización definitiva para hacer de este sistema el método más efectivo entre los posibles en aquella época.

El sistema Mitchell terminó teniendo un éxito rotundo, no sólo en Inglaterra sino en el mundo entero. La mayoría de los muelles metálicos que se construyeron a partir de la segunda mitad del siglo XIX se ejecutaron con cimentación de pilotes roscados, entre ellos los embarcaderos británicos de mineral de Riotinto, Tharsis y Dicido, en España. También en España se construyeron otros embarcaderos de autoría española, como veremos más adelante, así como faros metálicos proyectados con estructuras de fundición y de hierro forjado, inspirados en los modelos citados ejecutados por Mitchell en su país, siendo muy importantes en su época los trabajos del prestigioso arquitecto e ingeniero español Lucio del Valle,[4] que proyectó tres faros de gran porte y belleza, especialmente el faro de Buda, en la desembocadura del Ebro (fig. 5).

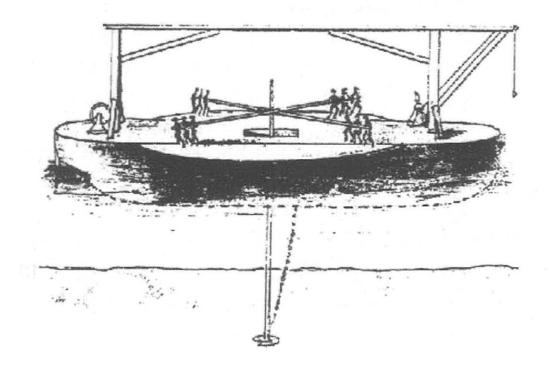


Figura 3
Sistema de hincado de pilotes roscados a brazo, desde una almadía (González Gª de Velasco y González Vílchez 2001)

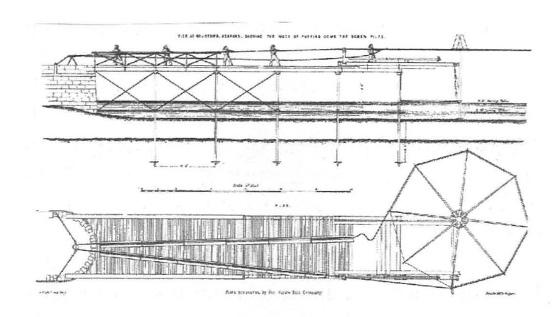


Figura 4
Sistema de hincado de pilotes roscados empleado en el muelle de Courtown (Mitchell 1848)

Alexander Mitchell y su hijo constituyeron la empresa Screw Pile Company, que patentó y difundió los pilotes roscados por el Reino Unido y países extranjeros, apoyándose para ello en la fundición Ransomes and May, que construyó la mayoría de los pilotes que se ejecutaron en los muelles británicos en el siglo XIX. Hasta bien entrado el siglo XX, los pilotes metálicos atornillados al subsuelo, conocidos como pilotes Mitchell, fueron la mejor solución en embarcaderos, faros, puentes y viaductos en casi todo el mundo, perpetuando el nombre de su autor e inventor.

Importancia de la aplicación del sistema de pilotes roscados. Su repercusión en el Reino Unido y en el extranjero

Los primeros trabajos de Mitchell se orientaron a resolver el problema del amarre de boyas para anclaje

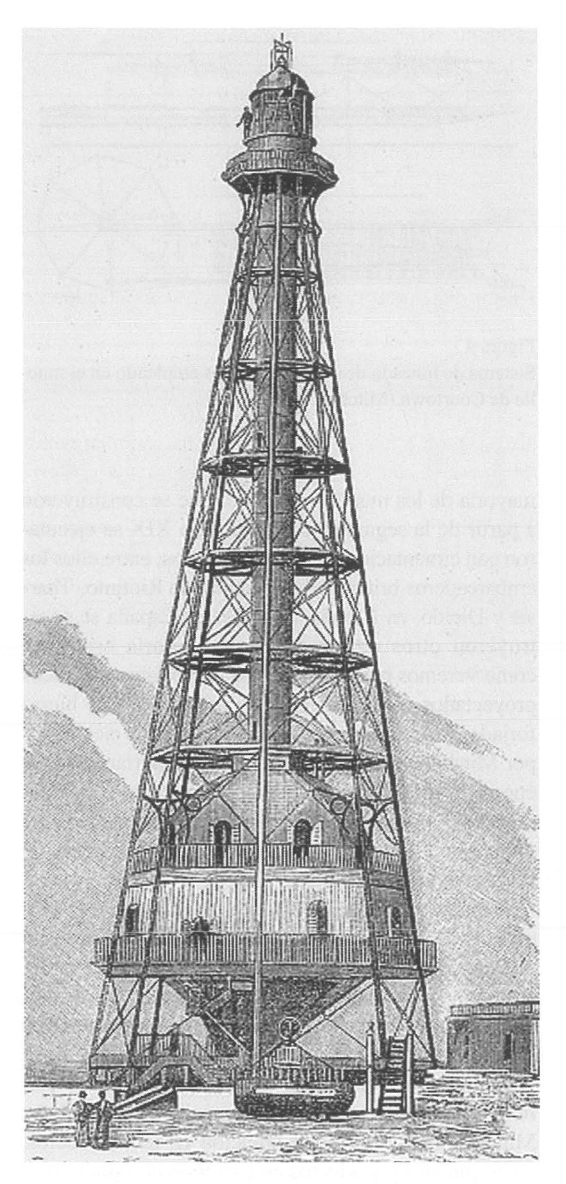


Figura 5
Faro de Buda, proyectado por Lucio del Valle (*Revista de Obras Públicas* 1861)

de barcos en los puertos y sus inmediaciones, aplicándose poco después a resolver el problema de construcción de faros en lugares pantanosos o de marisma, en los que otras cimentaciones resultaban inadecuadas. A partir de estos comienzos, el autor aplica su invento a cimentaciones de faros, puentes y embarcaderos marítimos y, en pocos años, el mundo de la ingeniería civil británica conoce el nuevo sistema de cimentación, lo valora y lo incorpora con gran éxito a las realizaciones de proyectos marítimos, especialmente en el ámbito de los embarcaderos de ocio, de los que se construyeron en el Reino Unido un centenar de artefactos a lo largo de la segunda mitad del siglo XIX, en la mayoría de los cuales se emplearon pilotes de rosca Mitchell.

En pocos años, en toda Europa y América se conoce el sistema y se aplica con profusión por los ingenieros civiles. Son incontables las realizaciones que, en todo el mundo, especialmente en los países de influencia británica, se llevaron a cabo con el sistema de pilotes roscados de Mitchell. También en España el invento fue acogido con gran interés por los ingenieros de caminos, aplicándolo muchos de ellos como principal sistema de cimentación en terrenos blandos o inundables. Citamos al respecto un artículo de un prestigioso ingeniero español, J.Antonio Rebolledo[5] publicado en 1878, en el que pone de manifiesto las ventajas extraordinarias de este nuevo sistema de cimentación.

Las técnicas de utilización de los pilotes roscados

Los primeros ensayos de los pilotes de rosca los llevó a cabo Mitchell en el puerto de Tyne, en Newcastle, donde comprobó que un pilote de rosca, atornillado tan sólo a 1 metro de profundidad en un suelo cenagoso, con una pequeña hélice de 0,46 metros de diámetro en su extremo, necesitaba un esfuerzo de 5 toneladas para extraerlo por tracción. Para grandes profundidades y diámetros de rosca mayores, los esfuerzos necesarios para extracción del pilote crecían exponencialmente, constituyendo el sistema de pilotes roscados un anclaje prácticamente inamovible a las tracciones.

Como comentamos antes, la aplicación inicial se llevó a cabo en pilotes de madera, diseñando Mitchell diversos tipos de sistemas para acoplar una rosca de fundición fijada con pernos al extremo de un pilote de madera. Se inventaron diversos tipos de uniones de pilotes de madera a helicoides de fundición, como los expuestos con anterioridad, y con ello se consiguió que los pilotes no sufrieran el aplastamiento y los da-

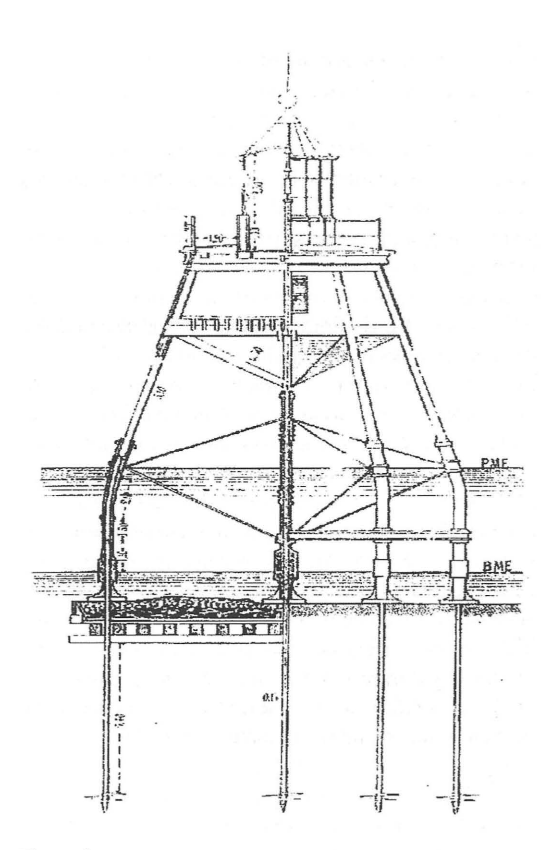


Figura 6
Faro de Maplin Sand, proyectado por A. Mitchell (Redman 1842)

ños que les producía el impacto reiterado de la maza de hinca. Su desarrollo estuvo en vigor mientras las estructuras de puentes y muelles se ejecutaron en madera, empezando a decaer hacia la segunda mitad del siglo XIX, dados los problemas de ataques de invertebrados bajo el agua, y siendo finalmente sustituidas por la fundición y el hierro forjado en las grandes estructuras

Como en todos los inicios, Mitchell tuvo dificultades para poner en práctica su invento en un proyecto concreto. No fue hasta el año 1838, cuando recibió el encargo de proyectar el faro conocido como Maplin Sand Lighthouse (fig. 6), que fue la primera estructura en la que se emplearon pilotes roscados. Los faros hasta entonces eran estructuras de piedra, a modo de baluartes, diseñados con gran peso y fortaleza para resistir el oleaje y los temporales. Mitchell, por el contrario, diseñó un faro metálico ligero, formado por barras articuladas a modo de entramado espacial, a través del cual el oleaje pasaba sin dañar a la estructura, quedando instalado en medio del agua, cimentado sobre subsuelo fangoso mediante pilotes roscados a la profundidad adecuada, y a salvo de los estragos del temporal.[6] Poco más tarde proyectó el faro de Fleetwood,[7] de la misma tipología y características (fig. 7).

La principal aplicación de los pilotes roscados de Mitchell iba a ser su utilización como sistema de cimentación en puentes y embarcaderos, en los que las condiciones subacuáticas de la cimentación generaban grandes dificultades de ejecución. En estas condiciones, un pilote roscado suponía un enclavamiento firme y seguro en el fondo de la plataforma costera, con relativamente poca dificultad de ejecución y larga garantía de permanencia, dada la poca resistencia que el propio pilote y su cimentación ofrecían frente al oleaje. Las técnicas de ejecución del hincado de los pilotes roscados, diseñadas por el propio Mitchell, nos introducen en un mundo de arqueología indus-

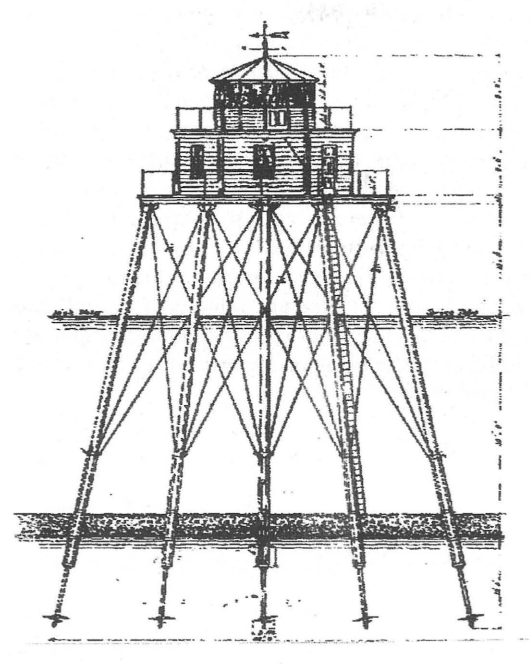


Figura 7
Faro de Fleetwood, proyectado por A. Mitchell (Captain Denham 1840)

trial, en el que destaca el ingenio del autor para resolver los problemas de hincado de los pilotes de sus estructuras.

El sistema más habitual de hincado consistía en instalar un cabrestante, a modo de corona con brazos, que se aplicaba al extremo del pilote de forma que lo aprisionara, y que se hacía girar por medio del empuje de unos hombres que se desplazaban en círculo sobre una plataforma suspendida como se observa en la figura 3. Cada brazo, de longitud considerable, era capaz de ser empujado por un grupo de hombres alineados (a veces hasta 8 hombres por brazo), contando la mayoría de los cabrestantes con 8 brazos. La potencia de giro así suministrada era muy elevada, produciéndose el roscado con facilidad. En casos de gran profundidad, como en el muelle de Riotinto, se montaron dos plataformas superpuestas, con un cabrestante instalado en cada una de ellas, consiguiendo de este modo multiplicar por dos el esfuerzo de rotación.

Este sistema se hizo más complejo al utilizar como plataforma de trabajo el propio embarcadero que se iba construyendo, instalándose el cabrestante en voladizo sobre pilotes provisionales en el extremo del muelle, y haciéndose girar la corona por medio de cuerdas traccionadas a mano por hombres que se alineaban en el tramo de muelle ya construido. Este es el caso del muelle de Courtown ya citado, en el que Mitchell diseñó un sistema como el que exponemos en la figura 4. También para el hincado de los pilotes roscados se aplicaron las máquinas de vapor, una vez que la tecnología manual pareció agotada. En las primeras máquinas se mantenían los cabrestantes, que eran atornillados mediante la aplicación de una máquina de vapor que tiraba de las cuerdas en sustitución de la tracción manual (fig. 8).

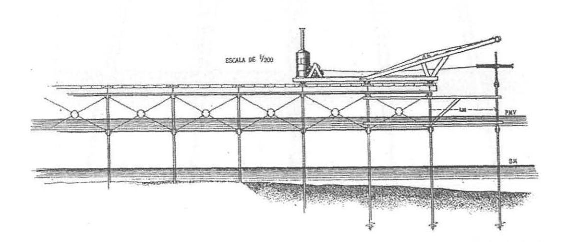


Figura 8
Máquina de vapor para atornillado de pilotes (Ribera 1895)

Los embarcaderos españoles de inspiración británica

El estudio y conocimiento por ingenieros españoles de la tecnología inglesa en materia de embarcaderos metálicos de pilotes roscados, dio como resultado la aparición en España de muelles de esta tipología a finales del siglo XIX y principios del XX.

La aplicación de los pilotes de fundición o de hierro forjado, y de los helicoides roscados en la cimentación de muelles embarcaderos, dio importantes resultados, más concentrados en la cornisa cantábrica y en la costa andaluza, por tratarse de las dos áreas geográficas en las que especialmente las empresas mineras inglesas habían ya construido embarcaderos con estas características. Es de señalar como caso especial el de la ciudad de Huelva, en cuya ría se encontraban los dos principales ejemplos de este sistema de construcción portuaria británica, los muelles de Tharsis (fig. 9) y de Riotinto (fig. 10), cuyo estudio omitimos en el presente trabajo por razones de brevedad remitiendo al lector interesado al trabajo antes citado,[8] y en la que los ingenieros españoles construyeron varios muelles metálicos de características similares.

Por orden de antigüedad, citaremos los embarcaderos de Portugalete (Bilbao), La Coruña, Villagarcía de Arosa (Pontevedra), Cádiz (Muelle de Puntales), Huelva (Muelle Sur), La Rábida (Huelva), Vigo, Bayona (Pontevedra), Huelva (Muelle Norte) y Moguer (Huelva). Aún cuando sería necesario mucho más espacio del que disponemos en este artículo, haremos una referencia breve de algunos de ellos.



Figura 9
Muelle de Tharsis, en Huelva (fotografía de la autora)

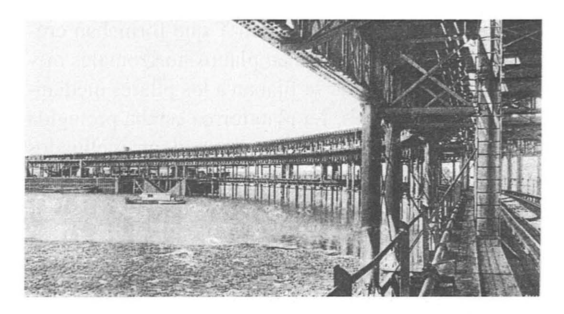
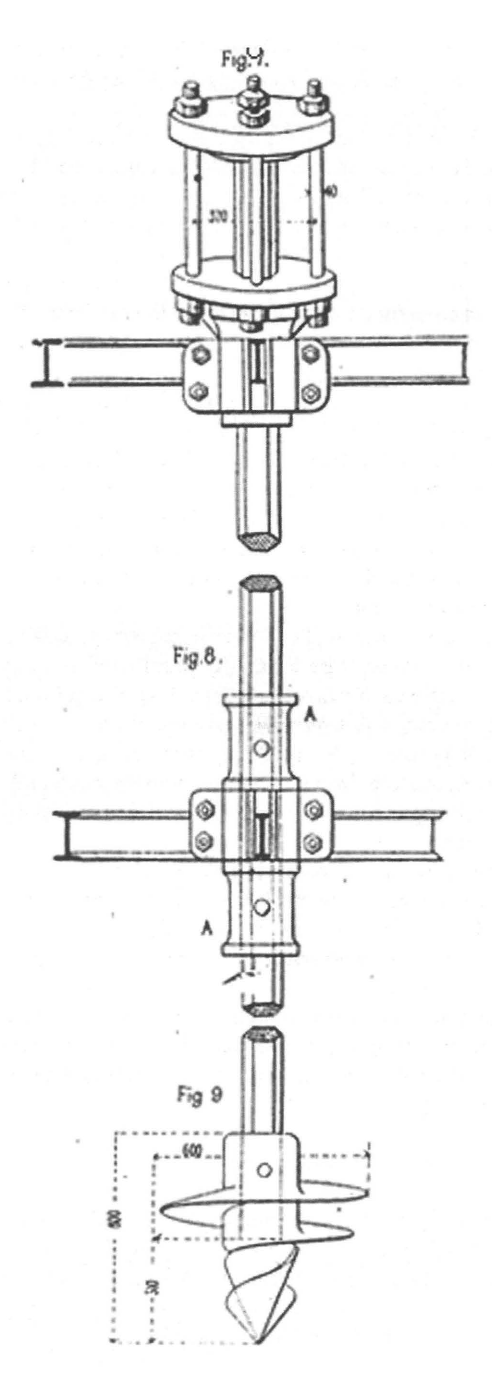


Figura 10
Muelle de Riotinto, en Huelva (antigua postal de Huelva)



Muelle de Portugalete

En 1878 el ingeniero vasco Evaristo Churruca, que había estudiado las realizaciones británicas en materia de pilotes y roscas de hierro, proyectó el dique de Portugalete, rematado por un faro metálico. El muelle metálico tenía 834 metros de largo y discurría paralelo a la ría de Bilbao por su margen izquierda. Se ejecutó con pórticos formados cada uno de ellos por dos pilares inclinados 1/10 hacia el exterior, macizos de hierro forjado y de sección hexagonal (figs. 11 y 12).

El muelle se ejecutó mediante una máquina de vapor que atornillaba los pilotes, previamente sujetos a una rueda sobre la que pasaba una cuerda que se arrollaba en el tambor de la máquina. Esta deslizaba por encima del tramo de muelle ejecutado, y después se

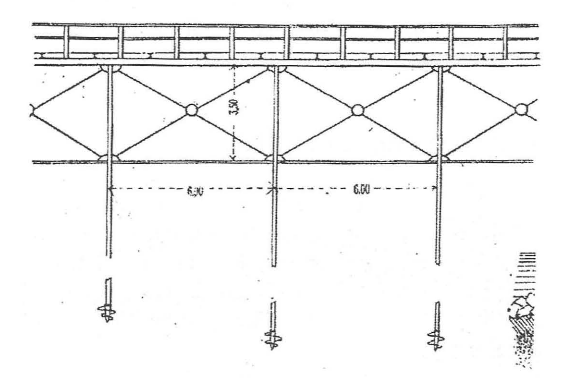


Figura 11
Alzado del muelle de Portugalete *(Revista de Obras Públicas* 1881)

Figura 12
Detalle constructivo del muelle de Portugalete (*Revista de Obras Públicas* 1881)

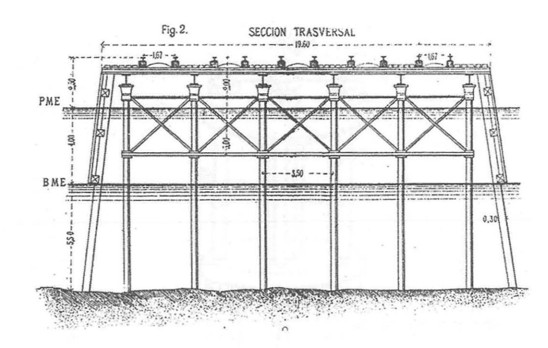


Figura 13
Sección del muelle de Puntales (*Revista de Obras Públicas* 1886)

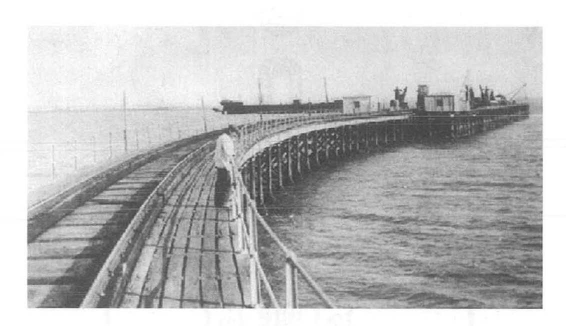


Figura 14
Imagen de época del muelle de Puntales (*Revista de Obras Públicas* 1886)

tendían las jácenas y viguetas, quedando el tramo de muelle terminado en espera de la ejecución del siguiente. Este muelle no se conserva en la actualidad.

Muelle de Puntales, en Cádiz

En 1883 el ingeniero Antonio Sanz proyectó para el puerto de Cádiz uno de los muelles metálicos más largos de España, con 700 metros de longitud, formado por un viaducto de pórticos de 2 pilares cada uno, y una plataforma de embarque con pórticos de 6 pilares (figs. 13 y 14).

Los pilotes eran de fundición, de 25 cm de diámetro, y estaban fijados por su extremo a roscas Mitchell de 1,30 m de diámetro. Los pilares estaban atados entre sí mediante barras en T que formaban cruces de S. Andrés y atados en planos horizontales mediante barras en U que se fijaban a los pilares mediante bridas atornilladas. La plataforma estaba protegida por una estructura de pilotes de madera, inclinados 1/10, y recubiertos por un entablado de riostras horizontales y tablas verticales. Este muelle no se conserva en la actualidad.

El muelle Sur, en Huelva

La ría del Odiel en Huelva poseía ya los dos principales muelles metálicos ingleses construidos hasta entonces en España (los de Tharsis y Riotinto), cuando, en 1881, el Puerto de Huelva decidió construir un muelle metálico de embarque de mercancías y de los minerales de otras compañías menores que embarcaban su producción desde el puerto onubense. El muelle fue proyectado por el ingeniero Carlos Mª Cortés, y se inauguró en 1888. Estaba formado por un viaducto curvo de 224 metros de longitud, y sus pilares del muelle estaban ejecutados en tubos de fundición de 30 centímetros de diámetro, terminados en hélices de 1,30 metros de diámetro, hincadas a una profundidad de 5 metros. El entramado era de hierro, con vigas de doble T de 55 centímetros de canto, colocadas en la dirección del viaducto, de alma llena y con refuerzos de angulares. Sobre el ala inferior de estas vigas apoyaban las viguetas, también de doble T, de 28 centímetros de canto, y sobre ellas tablones de madera y pavimento clavado. La cabecera tenía una protección de pilotes de madera que la reservaban frente a impactos (figs. 15 y 16). Este muelle no se conserva en la actualidad.

Muelle de La Rábida, en Huelva

Con motivo del cuarto centenario del descubrimiento de América, se construyó en La Rábida (Huelva), en 1892, un muelle proyectado por el ingeniero Francisco Terán. El muelle se diseñó en planta de T, con un puente de 96 metros de longitud y 6 de anchura, y una plataforma de embarque de 12 × 24 metros.

Los pilares eran de fundición, de 30 centímetros de diámetro, con capiteles troncocónicos, rigidizados con nervaduras de aletas que ampliaban la superficie de apoyo. Los pilares se encontraban arriostrados en

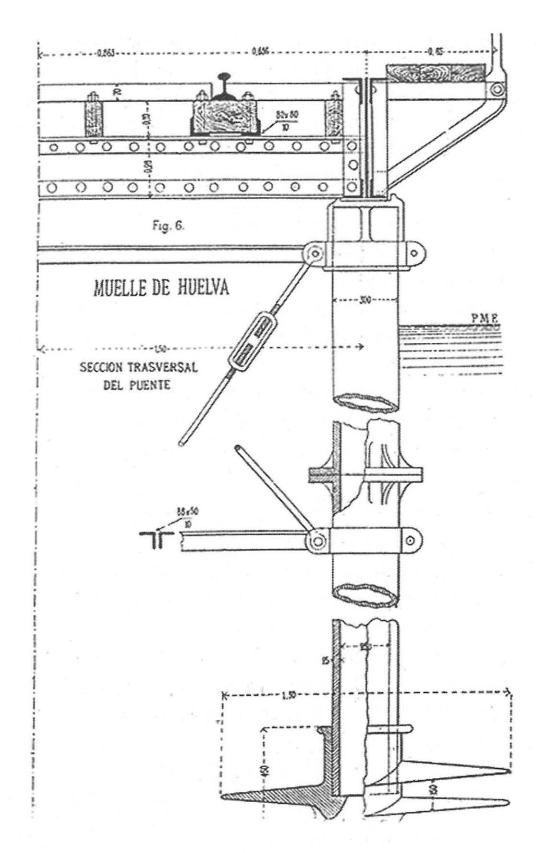


Figura 15
Detalle constructivo del muelle Sur, de Huelva (*Revista de Obras Públicas* 1890)

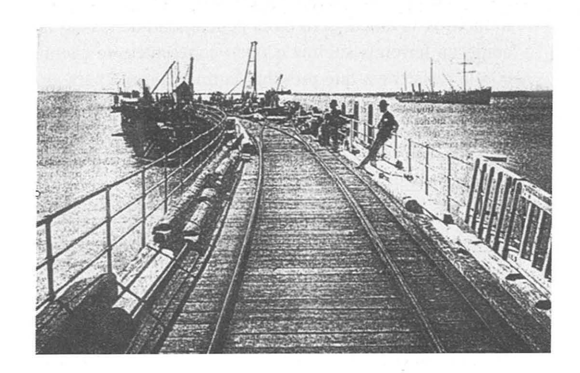


Figura 16
Imagen de época del muelle Sur, de Huelva (*Revista de Obras Públicas* 1890)

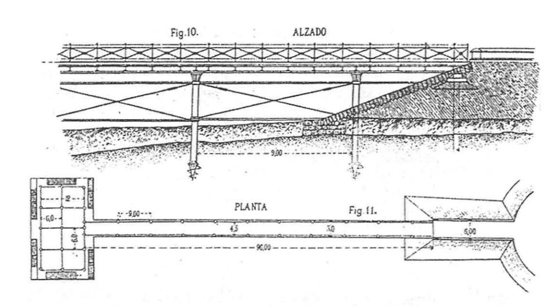


Figura 17
Planta y alzado del muelle de La Rábida, en Huelva (Ribera 1895)

los planos verticales por cruces de San Andrés, formadas por barras de redondos de 5 centímetros de diámetro, cogidas al soporte mediante bridas especiales. Las uniones en planos horizontales se realizaron con barras formadas por dobles angulares de 9 centímetros de lado.

La estructura estaba formada por vigas principales en la dirección del muelle, de doble T y de 50 centímetros de altura, que descansaban en los capiteles de los pilares. Atadas a ellas con placas y tornillos se encontraban las viguetas, ejecutadas en perfiles de doble T, de 20 centímetros de altura. Sobre las viguetas se encontraban los tablones de madera y el entablado de piso del muelle, colocado en espina de pez. Se trataba de un muelle de paseo y embarque de personas, por lo que no existían vías de ferrocarril sobre su tablero (fig. 17 y 18).

El muelle se conserva en relativo buen estado, habiéndose sustituido las primitivas jácenas de hierro por vigas de hormigón armado, y el tablero de madera por un forjado de hormigón armado (fig. 19). Es el único muelle embarcadero de autoría española, ejecutado en el siglo XIX con pilotes roscados, que se conserva en la actualidad.

Notas

1. González García de Velasco y González Vílchez 2001.
2. «Los faros de Edystone y Bell Rock, constituyen espléndidos ejemplos de estos trabajos. La habilidad científica en unir y atar todos sus elementos, proporcionan a los mismos gran monolitismo y fuerza. Al contrario de lo que pareciera, estas estructuras ligeras son más resisten-

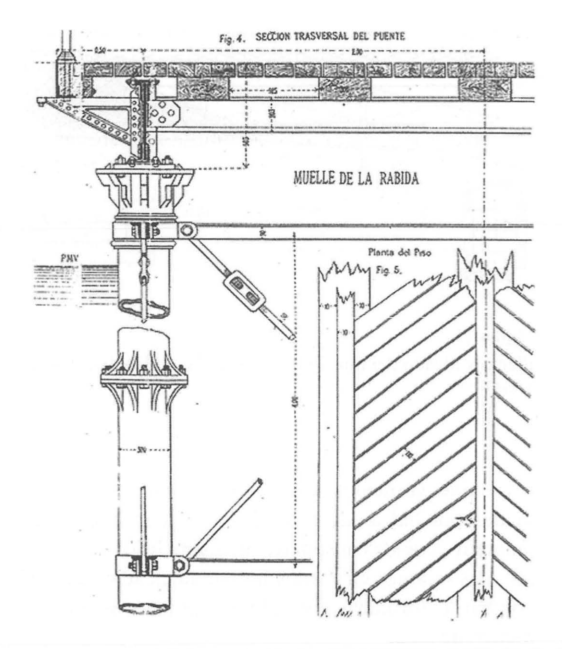


Figura 18
Detalles constructivos del muelle de La Rábida, en Huelva (Ribera 1895)



Figura 19
Imagen actual del muelle de La Rábida, en Huelva (fotografía de la autora)

tes a la fuerza del mar que las torres de los faros de piedra, pues las olas son invencibles cuando se les opone una fuerza que pretende ser inflexible» Mitchell 1848.

3. «Los pilotes esperaban en la parte de muelle situado en la playa y se llevaban al lugar en que se debían clavar, mediante rodillos, a lo largo de la plataforma de madera que se iba instalando sobre los pilotes que se iban clavando...Una parte de la plataforma se colocaba provisionalmente en ménsula, fijada firmemente a la parte ya construida, y allí el pilote era elevado por un aparejo y colocado verticalmente en su posición de hincado. Una rueda de 32 pies de diámetro, con barras como radios unidas por otras de conexión en sus extremos, estaba montada sobre el extremo del pilote, y era girada por una cuerda sin fin que pasaba alrededor de ella y se tensaba contra una polea extrema, fijada a 150 pies, en dirección a la orilla. La tendencia a volcar el pilote era contrarrestada por una pértiga horizontal situada a media altura, con una polea de apoyo lateral del pilote. Un grupo de hombres tirando de la cuerda daban la rotación necesaria a la rueda para clavar el pilote. La misma operación se efectuaba para el otro pilote lateral, tras lo cual, las vigas transversales se instalaban sobre los pilotes. La plataforma estable se construía sobre este pórtico y se volvía a instalar la plataforma provisional en ménsula para el siguiente pórtico» Mitchell 1848, 128.
4. del Valle 1861.
5. «En 1838 presentó Mr. Alexander Mitchell el proyecto de un faro que se había de situar en Mapling Sand, en el cual proponía el empleo de pilotes de rosca para establecer la fundación de esta obra . . . Desde aquella época, y vistos los buenos resultados que producen en la práctica, se usan los pilotes de rosca o de Mitchell en las fundaciones de faros, muelles, embarcaderos, boyas, puentes y otras varias obras. Estos pilotes gozan de la propiedad de penetrar desde los terrenos más flojos y sueltos hasta los más compactos y con cantos rodados, alcanzando profundidades más o menos grandes, separando al bajar los obstáculos de pequeño volumen y entrando a través del terreno sin dislocación de las capas atravesadas . . . En unos terrenos la rosca tiene por objeto facilitar la hinca, pero en la generalidad de los casos, como en terrenos sueltos o poco coherentes, se cuenta con la resistencia que presenta la misma rosca para aumentar la solidez de la obra y sostener una gran parte de la carga superior» Rebolledo 1870.
6. Redman 1842.
7. Captain Denham 1840.
8. González García de Velasco y González Vílchez 2001, 17–52.

Lista de referencias

Captain Denham. 1840. *Mersey and Lee Navigation. Description of the structure of the seaward lighthouse, leading to porto f Fleetwood*. Fleetwood.

Del Valle, L. 1861. «Proyectos de Torres de hierro para los Faros del Ebro». En *Revista de Obras Públicas.*

González García de Velasco, C.; M. González Vílchez. 2001. «Los embarcaderos de Tharsis, Riotinto y Alquife», 5–16. En *Textos de Arquitectura* 7. Sevilla.

Mitchell A. 1848. «On submarine foundations. particulary the Screw Pile and Moorings. Institution of Civil Engineers».En *Minutes of Proceedings.* Londres.

Rebolledo, J. A. 1870. «Pilotes con roscas de hierro forjado». En *Revista de Obras Públicas.*

Redman, John Baldry. 1842. «An account of the Mapling Sand Lighthouse, at the mouth of the River Thames. Institution of Civil Engineers». En *Minutes of Proceedings.* Londres.

Ribera, J. E. 1895. *Puentes de hierro económicos, Muelles y Faros sobre palizadas y pilotes metálicos.* Madrid: Baylli y Bailliere.

Historia de una viga: HUECOSA o el caso catalán

Fermín González

En 1960 Construcciones Barredo ejecutaba en Barcelona un conocido proyecto de Fernandez Casado, la cobertura del apeadero de Gracia y la calle Aragón. Esta obra realizada con vigas postesadas ejecutadas mediante dovelas de sección en doble T, llama la atención de un entonces joven ingeniero catalán; Antonio Casacuberta.

Casacuberta trabaja como director del equipo técnico del Grupo Colomer, una curtidora de gran tradición familiar asentada en Vic desde el siglo XVIII y que en ese momento se encuentra en pleno auge comercial.

Cuando entorno al año 1967 Colomer decide emprender un modelo expansivo, el equipo técnico no duda en utilizar los medios de Barredo para ejecutar las obras del Grupo. A través de Barredo se contacta con el arquitecto Miguel Fisac y de este modo se forma lo que vino a denominarse HUECO SA, una sociedad al abrigo de Colomer que pretende desarrollar una serie de piezas prefabricadas en hormigón postesado destinadas principalmente a cubrición de edificios industriales.

El objetivo por tanto pasa por desarrollar piezas huecas de hormigón, gestionando sus patentes y controlando todo el proceso mediante un gran rigor en los procesos de fabricación y montaje para asegurar así el acceso a un mercado que aún estaba muy verde en la España del momento.

En este momento Fisac ya había desarrollado cinco tipos diferentes de piezas huecas, dentro de una búsqueda obsesiva por hallar la «pieza mágica» que terminara por resolver todos los problemas arquitectónicos. En una conferencia pronunciada en 1965 en el Instituto Eduardo Torroja, el arquitecto se refiere en estos términos a sus investigaciones:

> Con las colaboraciones de Vicente Peiró y Ricardo Barredo y otras muy valiosas y entusiastas he obtenido algunas soluciones. Por ejemplo una pieza de 20 metros de longitud, de 1,5 cm de espesor, construida con un hormigón no digo corriente, pero si normal de 400 Kg/cm^2 y un acero de 16000 Kg/cm^2 de resistencia, que indica la posibilidad de encontrar unas soluciones con vistas a la prefabricación, que es lo que en estos momentos tengo entre manos, que pueden ser realmente interesantes. Las características de estas piezas son, en resumen, las siguientes: una ligereza de un 70 por 100 con respecto a las vigas macizas; un notable ahorro de material —unas tres cuartas partes—; una rigidez gracias a las formas que se le pueden dar, muy adecuadas para el transporte y unas posibilidades de aislamiento térmico y acústico bastante grandes. Desde mi punto de vista de arquitecto es un orgullo ver que ésta es una solución realmente correcta de una síntesis que es arquitectónico-constructiva, de forma que no son formas para soportar otras formas arquitectónicas, sino que son formas arquitectónicas que se aguantan por sí mismas. Esto creo que, desde un punto de vista de corrección arquitectónica, es irreprochable (Miguel Fisac, 1965).

Las soluciones que se remontan a la sala de modelos del Centro de Estudios Hidrográficos de Madrid habían planteado una serie de limitaciones constructivas (fig. 1). Sin embargo desde entonces las investi-

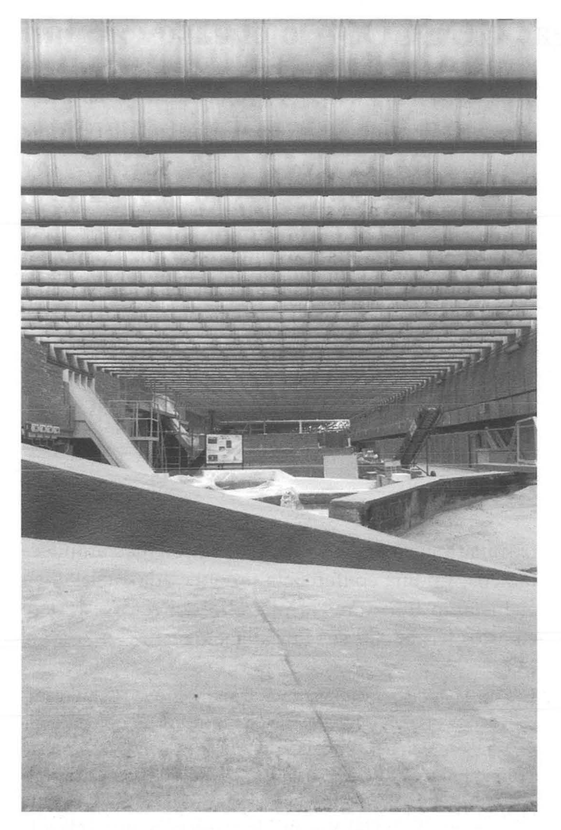


Figura 1
Interior de la sala de modelos del Centro de Estudios Hidrográficos (1960) (Foto Alex del Rio 2007)

gaciones y las patentes se suceden tratando de pulir las posibles deficiencias. De este modo se llega a HUECO SA. La experiencia tuvo mucho desarrollo práctico sólo con las necesidades de Colomer y sus empresas afines, principalmente ubicadas entre Vic y Montmeló. Y llegó a salirse del ámbito comarcal gracias al encargo de las bodegas Garvey en Jerez.

Toda la experiencia tiene un gran interés no sólo por los espacios arquitectónicos obtenidos sino también por el control desde el proceso de fabricación de las piezas, pasando por el montaje hasta la arquitectura final. Reflejo de un conjunto de técnicos que llegaron a una estrecha relación de colaboración, ingenieros de caminos, aeronáuticos, industriales, aparejadores, arquitectos . . . , cada uno desde su ámbito de decisión.

El Grupo Colomer, pese a ser un grupo textil tenía un equipo técnico de gran peso. Los ingenieros desarrollaban los proyectos y obras de las fábricas, preferentemente en hormigón armado debido al tipo de actividad que se desarrollaba. El tratamiento de pieles genera un ambiente muy salino que ataca al acero. Las naves industriales debían seguir módulos de unos 16 metros de luz y largo variable y estas vigas resolvían las necesidades.

La primera de las obras que se acometen con este tipo de soluciones, son análogas a la solución antes citada de cubrición de la calle Aragón. Vigas postesadas de unos 16 metros de luz con dovelas de sección en doble T, de un metro longitud salvo la central que ajusta la luz necesaria. La trayectoria de los cables es curva para aprovechar las ventajas estructurales del postesado, y la dovela central ya recta marca el eje de simetría de las piezas al tiempo que regula la longitud de la viga para la luz a cubrir.

De este modo se ejecutó el forjado de Ernesto Baumann en Vic. Las dovelas se subían de una en una a un caballete a la altura del forjado, allí se pasaban los cables, se tesaban y posteriormente se introduce la lechada (fig. 2). Todo ello realizado mediante el Sistema Barredo o sistema español.



Figura 2
Proceso de elevación de dovelas a la altura del primer forjado en la fábrica E. Baumann en Vic (1967) (Archivo Arumí)

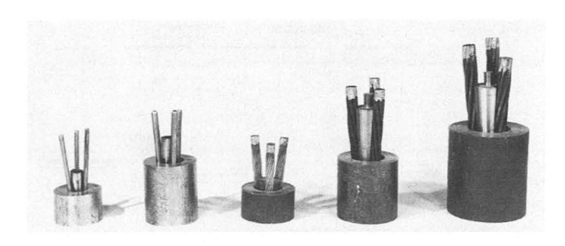


Figura 3
Juego de cuñas y conos del sistema Barredo original (Archivo Barredo)

Barredo posee en esos momentos una patente de postesado de gran éxito, dentro del mercado nacional compite con otros sistemas como BBRV, Freyssinet, o CCL, sin embargo Fisac siempre confió a Barredo sus realizaciones en el campo del postesado.

El sistema Barredo de postesado se basa en su sistema de anclaje, diremos que el sistema se encuadra dentro de los anclajes por cuñas, y dentro de éstos entre aquellos en que no existe contacto alguno entre dicha cuña y el cono hembra exterior, ya que las armaduras se introducen apoyándose sólo en dicha cuña. (fig. 3). Se caracteriza particularmente porque tanto la cuña como el cono hembra son metálicos y sólo utiliza tres alambres por anclaje para obtener un anclaje isostático. De este modo se pretende que apretada la cuña contra los tres primeros pudiese realizarse menos esfuerzo de retención sobre el cuarto alambre y los sucesivos. Esto lleva aparejado un curiosos gato de tesado con tres parejas de émbolos que permitan el tesado independiente por alambre. El problema de los pequeños esfuerzos que podían asumir los alambres quedó resuelto con el uso del cable trenzado y posteriormente, el sistema evolucionó hacia otros sistemas que ya incluían cuñas deformables y mayor número de armaduras.

Este sistema ya había sido utilizado por Fisac en el Centro de Estudios Hidrográficos en Madrid, en esta obra la luz a cubrir de 22 metros se resuelve mediante dovelas de un metro de longitud con sección tal que permite la entrada de luz cenital, aislamiento e impermeabilización. Los cálculos fueron realizados por los técnicos del Ministerio, José Maria Pliego y González Montesinos. La viga se forma como repetición de la dovela tipo que sólo ve alterada en la última unidad contigua al apoyo. La pieza de cabeza hace la función de apoyo sobre los muros de hormigón armado, donde se apoya sobre unos tacos de neopreno. Esta pieza posee las cavidades propias para alojar en su interior las cuñas. Realizado el proceso de tesado, la viga se desplaza mediante patines por la coronación de los muros hasta su posición definitiva. Finalmente se coloca atornillada la pieza en voladizo que hace de gárgola en fachada (fig. 4).

La altura total de la pieza supera el metro de altura y por tanto las dimensiones y los medios del momento dificultan su manipulación en obra, todo ello sumado a la trayectoria curva de los cables que dificulta aún más la prefabricación (fig. 5).

Con esta experiencia acumulada se abordó el caso catalán y algunos criterios fueron fundamentales; estos primeros encofrados aún muy pesados fueron sustituidos por otros de aluminio fácilmente desmontables, las piezas redujeron su tamaño y los cables pasaron a ser rectos en todos los casos. Como consecuencia los sistemas de montaje variaron en función de estos ajustes, ya podían armarse las vigas en el suelo a pie de obra y elevarlas con grúa hasta su colocación definitiva (fig. 6).

La fabricación de piezas llegó a niveles muy estrictos de control, para esta fase se contó con un prefabricador local, Juliá Arumí, que tenía experiencia en la fabricación de viguetas. Arumí se sumó a la experiencia y así se llegó a crear lo que sería un modelo de fábrica, con todos los procesos organizados y controlados mediante estrictos criterios de calidad. Es decir el modelo era exportable a todos los niveles incluso en lo referente a las plantas de fabricación, algo que con el paso de las décadas comenzó a ganar

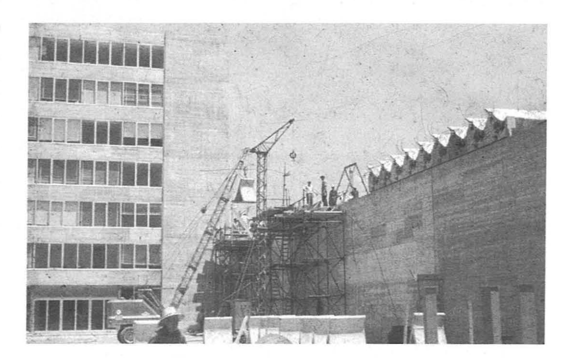


Figura 4
Proceso de montaje de vigas por dovelas en el Centro de Estudios Hidrográficos en Madrid 1960 (Archivo Barredo)



Figura 5
Centro de Estudios Hidrográficos en Madrid 1960, transporte de dovelas en su encofrado por el parque de prefabricación a pie de obra (Archivo Barredo)



Figura 6
Fábrica Colomer en Vic, 1968, proceso de montaje de vigas de cubierta (Archivo Arumí)

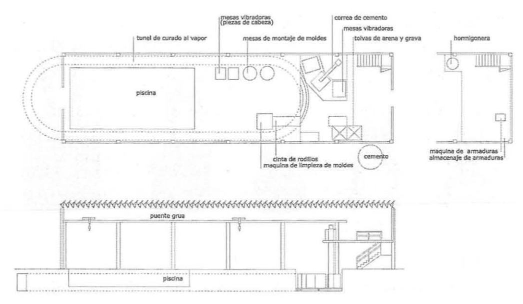


Figura 7
Fábrica Arumí en Vic, planta tipo de la fábrica que se presentaba al mismo tiempo como prototipo generalizable (Redibujado para la exposición Fisac_Huesos Varios)

protagonismo en determinadas escalas empresariales (fig. 7).

La mentalidad empresarial que impulsó esta aventura, estaba sin lugar a duda muy por encima de la escala comarcal, incluso nacional. Los Colomer, una saga de empresarios del curtido, habían basado su crecimiento en el paso de la artesanía a la industrialización del trabajo de la piel, no es por tanto de extrañar que asimilaran tan fácilmente lo que Barredo y Fisac proponen. Todo ello bañado por un halo de entusiasmo y fe ciega en lo que proponían como solución universal para la arquitectura.

Reunido un potente equipo, Colomer no dudó en poner lo mejor allí dónde fuera necesario. En una comarca pobre en áridos creó una planta de machaqueo para alcanzar los niveles requeridos por cálculo, el control de calidad se basó de un modo directo en las pruebas de rotura de probetas hasta límites desmesurados, y en el túnel de curado un termómetro controlaba la temperatura cada metro de desarrollo de la cinta transportadora. Nada quedaba a la improvisación.

Como la técnica aún no estaba regulada en España a nivel de normativa, en las oficinas, los ingenieros como Sallés o un joven Josep Maria Casals, utilizaban las normas francesas y las publicaciones que a tales efectos salían del Instituto Eduardo Torroja. Aun no se conocían muchos de los problemas que acarrea el pretesado trabajado de esta forma, y es tal vez este carácter pionero lo que aún engrandece más la historia.

Los hormigones empleados eran de alta resistencia, con gravilla machacada hasta alcanzar granulo-

metrías finas. Aunque las dovelas se habían calculado para un esfuerzo de 400 Kg/cm^2, la resistencia a rotura del hormigón, que se controlaba minuciosamente, alcanzó valores más elevados, en ocasiones claramente exagerados. J. M. Casals ingeniero industrial perteneciente al Grupo Colomer entonces, cuenta todo esto al tiempo que recuerda haber roto probetas a más de 700 Kg/cm^2.

La planta tenía un nivel superior desde dónde se basculaba el hormigón a través de cintas hasta los encofrados donde previamente se preparaba la armadura pasiva y el desencofrante. Realizado el vertido, las piezas se desplazaban con ayuda de un puente grúa hasta las mesas de vibrado, y se sometían a un curado al vapor en un túnel que recorre todo el perímetro de la nave en circuito cerrado, (salvo casos concretos como las piezas de cabeza que se introducían en un cajón). Terminado el proceso ya estaban listas para desencofrarse y en grupos de cuatro se introducían en la piscina para el curado definitivo, evitando así fisuraciones. Tras 24 horas en una piscina, a los 28 días estaban en condiciones de ser utilizadas para la formación de vigas (fig. 8).

Los ensayos de rotura de viga completa también se realizaron en las instalaciones de Arumí (fig. 9).

Una vez superada la fase de fabricación, el montaje de las vigas se hacía poniendo las dovelas sobre unas piezas de soporte apoyadas en carriles. Las piezas poseen unas pestañas haciendo machihembra y unas vainas en las juntas permitían el rejuntado una vez pasados los cables. Al cabo de un tiempo se tensaban con los gatos y los anclajes de Barredo. Generalmente el tesado se hacía desde un extremo, aunque dicho extremo alternaba para cada grupo de tres cables así se agilizaba el proceso pudiendo trabajar al tiempo por ambos extremos de la viga.

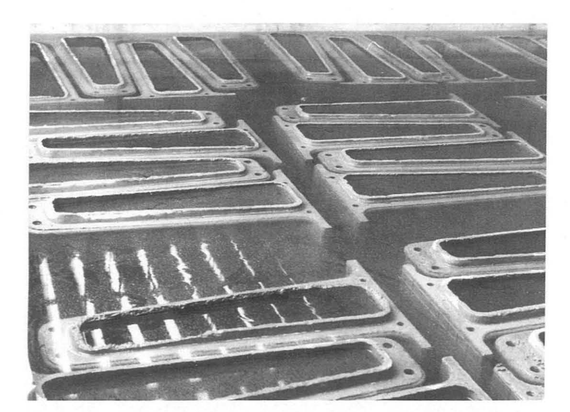


Figura 8
Fábrica Arumí en Vic, dovelas de pieza trapecio en la piscina organizadas en grupos de cuatro unidades colocadas con la machihembra hacia arriba para no dañarse (Archivo Arumí)

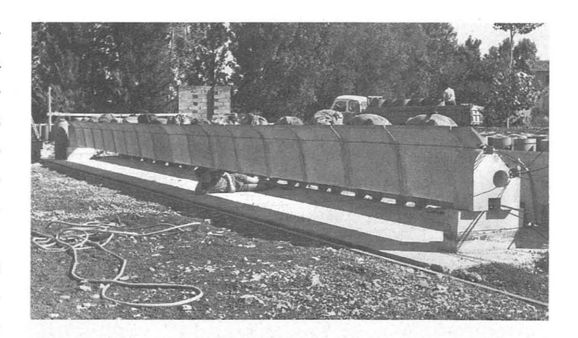


Figura 9
Fábrica Arumí en Vic, pruebas de carga de vigas con dovela tipo sigma, las piezas de cabeza aún recuerdan las del Centro de Estudios Hidrográficos sin embargo no llegaron a ejecutarse con un hueco tan grande (Archivo Arumí)

Finalmente y a modo de protección de los cables se introduce la lechada definitiva por uno de los extremos hasta que rebose por el extremo opuesto.

Se realizaron una serie de ingenios para el transporte de estas vigas con carros eléctricos de fácil manejo por un operario que contrasta con las imágenes de época de los trabajadores del Centro de Estudios Hidrográficos trasladando una única dovela con complejas estructuras metálicas empujadas manualmente a lo largo del patio de obra (fig. 10).

El intereje de las vigas varía en función de la orientación (en el caso de cubiertas) y de la sobrecarga (en el caso de forjados). Con estos sistemas se desarrollaron tres tipos de piezas;

- Pieza sigma, para cubiertas con luz cenital.
- Pieza trapecio, para forjados o cubiertas sin luz cenital.
- Pieza pato para marquesinas.

Pieza Sigma. Es la versión mejorada de la pieza CEDEX, y al igual que la original es ventilada gracias a un orificio avellanado que a duras penas se



Figura 10
Fábrica Ernesto Baumann en Vic, traslado de la viga ya montada con ayuda de unos carros eléctricos (Archivo Arumí)

abre entre el armado de la pieza de cabeza. La pieza sigma es de sección asimétrica, fue llamada así por Cassinello en función de su forma, aguanta una luz libre entre pilares de 17 metros, y su colocación varía en función de su orientación, siendo el lucernario de poliéster a Norte el que mejor comportamiento presenta.

La viga está construida a base de dovelas prefabricadas de hormigón de un metro de longitud, huecas de sección sensiblemente triangular. Las dovelas llevan los agujeros necesarios para el paso de los cables que en todos estos casos son de trayectoria recta. El peso por unidad de longitud es de 107 kg/m. Las vigas se forman colocando las dovelas a pié de obra, sobre apoyos deslizantes, que permiten yuxtaponerlas hasta formar la longitud deseada; los extremos de las vigas se cierran con las llamadas piezas de cabeza que sirven también para el anclaje de las armaduras de postesado. Por la cara exterior de la pieza de cabeza se atornilla una última pieza que ya no forma parte de la viga y a modo de gárgola hace continua la evacuación de agua al tiempo que marca en alzado la seriación de las vigas. Esta última pieza ya no posee los taladros para los cables ni el poliéster.

Los cálculos relativos a centros de gravedad e inercias se realizaron descontando la visera cuya función se considera de parasol, nunca estructural, de tal modo que el rejuntado entre dovelas finaliza precisamente a la altura de dicha visera.

Pieza Trapecio. La pieza trapecio, es de sección simétrica, recibe su nombre en función de la sección, está destinada a formar vigas para forjados o para cubiertas a las cuales se les puede adaptar lucernarios. Sin embargo esta última solución no se desarrolló en la práctica. Las luces libres entre pilares varían según sean utilizadas para forjado o para cubierta.En los forjados se puede llegar a luces de 16 a 20 metros según la sobrecarga útil. En cubiertas puede llegarse hasta 25 m quedando limitado este valor máximo a causa de la flecha de la viga. El peso por unidad de longitud es de 180 kg/m. Por sus características constructivas y su tipología estructural, es una de las piezas que mejor comportamiento ha tenido.

Pieza Pato de marquesina. Piezas asimétricas, destinadas a formación de voladizos de hasta 8m, para uso como marquesina (fig. 11).

El peso por unidad de longitud de viga es de 80 kg/m, excepto la pieza de anclaje cuyo peso es de 120 kg. A diferencia de su antecesor directo que es la marquesina postesada del CEDEX donde los anclajes quedan vistos en los vértices de las piezas, en este caso la trayectoria de los cables se modifican en la pieza de cabeza para tensarse al interior de la sección. Generalmente se colocan mediante empotra-



Figura 11
Fábrica Ernesto Baumann en Vic, piezas pato funcionando en día de lluvia, el reborde final de la dovela hace de goterón en la de cabeza (Foto Alex del río.2007)

miento en muros de hormigón dónde se dejan pasantes los taladros de los cables, estando este extremo formado por un anclaje pasivo y el tesado se realiza desde la pieza de cabeza del extremo del voladizo. También existe una pieza especial para apoyos sobre pórticos.

Estos tres tipos de piezas dieron lugar a todo un elenco de obras que en su día se instalaron a lo largo de la comarca del Vallès y Osona. En Vic se realizó la fábrica de Ernesto Baumann que de algún modo constituye el pistoletazo de salida de Hueco SA, y a partir de ahí la propia fábrica sede del Grupo Colomer, y una fase puntual de Anónima Lanera. En Montmeló se complementa la serie con la fábrica de Máximo Mor y Comercial Italo Española (CIESA). El crecimiento urbano y los cambios propios del planeamiento han hecho desaparecer la gran mayoría de todas estas edificaciones quedando en pié, cuando estas líneas se escriben, sólo la antigua Baumann (hoy sede de Colomer) y Máximo Mor en Montmeló (ya cerrado industrialmente) (fig. 12).

Además de éstas también se construyó alguna nave aislada por la comarca y la curiosa vivienda de

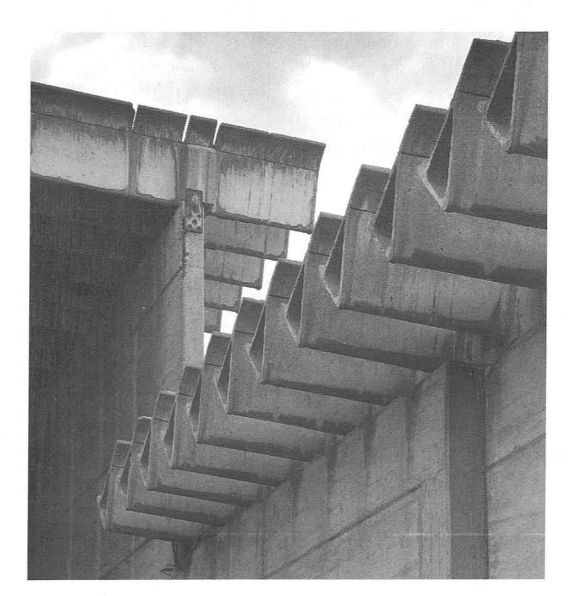


Figura 12
Fábrica Máximo Mor en Montmeló, 1968, imágen actual que demuestra el buen estado de las piezas transcurridos cuarenta años (Foto Alex del Río. 2007)

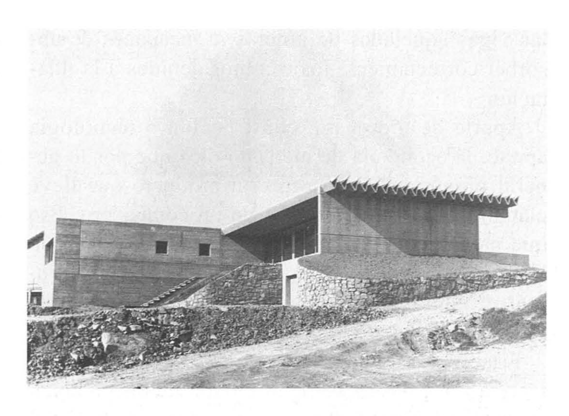


Figura 13
Vivienda Casacuberta en Santa Eugénia de Berga, 1968, imagen actual (Foto Alex del Río. 2007)

Santa Eugenia de Berga, próxima a Vic, donde Fisac proyectó la vivienda para el ingeniero Casacuberta, vivienda que posee una veintena de vigas con pieza sigma, atravesando el porche y salón de la vivienda (fig. 13). Aun siendo un uso anecdótico resulta curiosa la aplicación de estos sistemas a una escala tan alejada de la industrial o más aún de la ingeniería civil. La vivienda Casacuberta representa el espíritu de toda esta experiencia, el intento de llevar a todas las escalas de la edificación técnicas y medios propios de la ingeniería civil, no por el mero hecho de su procedencia sino por lo innovador y la vigencia de la tecnología del momento, por otro lado más próxima a la ingeniería que a la arquitectura.

En general el desarrollo posterior de las técnicas ha puesto de manifiesto lo incuestionable del pretesado en las grandes luces de la construcción civil, y ha mantenido una relación no tan estrecha aunque sí interesante con la edificación. Sobre todo en la edificación industrial o en aquellos casos en que por lo singular del programa sea necesario recurrir al pretesado.

HuecoSA, tuvo una vida muy corta, el resultado empresarial podemos considerarlo incluso de desastroso, sin embargo ciertos principios en que se asentaba la experiencia son plenamente vigentes. Son muchos quienes creen que tal vez se hayan adelantado a su época, que crearon un producto para el que aún no había mercado. El grado de desarrollo del poliéster tampoco facilitó el funcionamiento de

las vigas aquejadas de goteras, e incapaces de absorber correctamente los cambios debidos a la dilatación.

Aparte de todo esto, construcción o tecnología aparte, la economía de mercado dice que por lo general ningún arquitecto usa un producto que lleve claramente marcado el sello de un compañero. Eso que parece tan banal, ya lo había sufrido el propio Fisac con su famosa lámpara, (revalorizada al cambiar el nombre comercial del arquitecto por el de Blancanieves).

Fisac fiel a su propia forma de entender la arquitectura y la construcción, en ningún momento abandona sus principios, de modo que incluso las soluciones más netamente constructivas acaban por tener el poso del maestro manchego. En cualquier caso el empeño investigador demostrado no puede dejarnos indiferentes, y es este afán el verdadero motor de esta historia, una afirmación de su primera investigadora Mari Cruz Morales Saro deja clara la tesis de Fisac sobre la falta de industrialización en nuestro país basada en la falta de apoyo a la investigación interna y en las elevadas cantidades que se pagan en conceptos de royalties.

> Hay que pasar hoy a las tecnologías modernas y universalizadas, hay dos procedimientos para conseguirlo: el primero investigar y facilitar el estudio de estas nuevas técnicas para que se pongan en práctica dentro de España. Hay otra solución más fácil, pero también más desastrosa pagando más royalties (Miguel Fisac, 1973).

Lista de Referencias

Arques Soler, Francisco. 1996. Miguel Fisac. Madrid: Ediciones Pronaos.

Asociación Técnica Española del Pretensado atep. 1970. *Hormigón Pretensado: Realizaciones Españolas*. Madrid: Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.

Barredo, Carlos. 1970. «Ultimas obras tensadas con el Sistema Barredo». En *Hormigón y Acero*. 94–95.

Barredo, Ricardo. 1955. «Pretensado, Sistema Barredo». En *Informes de la Construcción*. 70.

Barredo, Ricardo. 1959. «Realizaciones en estructuras con armaduras postesas», Conferencia pronunciada por R. Barredo en la IV Asamblea General de la AEHP.

Cassinello, Fernando. 1974. *Hormigonería*. Madrid: Editorial Rueda.

Cassinello,Pepa. 2000. «Razón científica de la Modernidad española en la década de los 50» Pamplona: Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Navarra.

Eduardo Torroja. 1954. *Razón y Ser de los Tipos Estructurales*. Madrid: IETCC.

Fernandez Casado, Carlos. 1959. «Estructuras de hormigón pretensado realizadas y en vías de realización en 1959–60», Conferencia pronunciada por R. Barredo en la IV Asamblea General de la AEHP.

Fernando Cassinello. 1967. «La estética del Pretensado». En *Revista Hormigón y Acero* (Conferencia pronunciada en el Instituto Eduardo Torroja).

González Blanco, Fermin. 2006. »Razón y ser de los tipos». En *Informes de la Construcción*. 503: 41–48.

Morales Saro, Maria Cruz. 1979. *La arquitectura de Miguel Fisac*. Colegio de arquitectos de Ciudad Real.

Las presas del cortijo de Samsó en Tamadaba (Gran Canaria): del proyecto de presa de D. Policarpo Santana Jiménez en 1907 a las cinco presas construidas a partir de 1940 por D. José Samsó Henríquez

Jaime J. González Gonzálvez

Al niño de 7 años que subía el camino con 5 kilos de cal en una lata de aceite

Cuando se ha nacido en un país como las Islas Canarias es cuando se puede apreciar el agua en su justo valor (René Verneau 1884).

Gran Canaria es «la isla de las presas por excelencia», ya que existen en la isla más de 60 presas de embalse con una altura superior a los 15 m; pero también se construyeron en Gran Canaria más de 50 presas de menos de 15 m. La mayoría de las presas son de mampostería, construidas con materiales locales y morteros de cemento-arena. Las más modernas son de hormigón. Pero de todas las presas de la isla, quizás sean las Presas del Cortijo de Samsó las únicas cuya historia ha valido la pena rescatar del tiempo. Su construcción es una historia de esfuerzo y tesón que sirve para comprender que las posibilidades de la artesanía heroica en Gran Canaria siguen siendo expansivas, a pesar de las siempre altas técnicas modernas.

En el Cortijo de Samsó, en el Pinar de Tamadaba, existen en la actualidad 4 presas en una sola y pequeña cuenca de recepción de la plataforma culminante traquifonolítica mio-pliocena del Macizo de Tamadaba. En nuestra opinión, el Cortijo de Samsó no sólo es la zona de la isla de Gran Canaria con mayor densidad de presas, sino que además es un ejemplo único en la construcción de presas, estanques, canales, cantoneras y tuberías. En otras palabras, en Tamadaba existe un ámbito donde se puede valorar, en poco espacio, el esfuerzo titánico llevado a cabo por el grancanario para obtener el «oro líquido» con el que poder regar los jardines «fabricados» en Gran Canaria. Y todo ello (menos la Presa Nueva) fue construido en lo alto de una vieja montaña cuando sólo existía un camino que sigue siendo una senda que sube serpenteando por las laderas y riscos del Valle de Agaete. Por lo tanto, la presente comunicación se va a centrar en la historia de la construcción de las Presas del Cortijo de Samsó en la meseta de Tamadaba, desde el Proyecto de la Presa de D. Policarpo en 1907 hasta el Proyecto y posterior construcción de la Presa Nueva a partir de 1972.

El lugar de Tamadaba donde llaman Cortijo de Samsó

Las capas riolíticas cubren todo el macizo de Tamadaba, que es un gran bloque entre el valle de Agaete al norte y el barranco de Tejeda al sur (Hans M. Hausen 1954)

Los Barrancos de Siete Pinos, Los Ancones y sus afluentes de Guayedra, nacen en la Meseta que forma el pinar de Tamadaba; su longitud oscila entre uno y dos kilómetros y luego se despeñan hacia la parte baja desembocando Los Ancones y Siete Pinos en el barranco de Agaete y los afluentes restantes en el barranco de Guayedra, continuando luego su curso en dirección al mar (Ingeniero Jefe D. Rafael Ynzenga 1940)

El relieve del Cortijo de Samsó, en la Meseta del Pinar de Tamadaba, por lo que también se le conoce como el Cortijo de Tamadaba o de Siete Pinos, está conformado por tres barrancos que parten desde la cumbre de la meseta, y que tras un corto recorrido se despeñan al Valle de Agaete y al ámbito de Guayedra desde los 1.000 m snm; así como de una montaña aislada cuyo pináculo alargado alcanza los 1.083 m

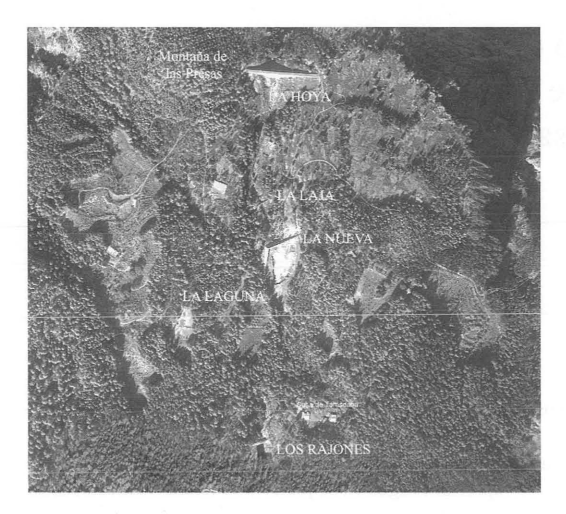


Figura 1
El Cortijo de Samsó en 2005 (Foto cedida por GRAFCAN)

snm. Este punto elevado de la meseta se conoce en la isla como la Montaña de las Presas.

Así pues, en el cortijo existen tres pequeñas cuencas vertientes que drenan las escorrentías de una parte de la Meseta del Pinar de Tamadaba. Desde la cumbre y aguas abajo nos encontramos por el Este con el Barranco del Chorro (Barranco de Siete Pinos); en el centro con el Barranco de las Lajas (Barranco de los Ancones en su tramo final de la meseta); y por el Oeste con el Barranco de Saavedra (Barranquillo Oscuro). Tanto el proyecto de presa de D. Policarpo como las 5 presas construidas por la familia Samsó, las presas de Los Rajones, La Laja, La Hoya (más conocida como Tamadaba) y La Nueva (antigua Presa de La Laguna), se localizan en el Barranco de Las Lajas.

Del proyecto de la presa de Don Policarpo en 1907 a los condicionantes de la administración en 1909

El 26 de Julio de 1907, D. Policarpo Santana Jiménez solicita una autorización a la Jefatura de Obras Públicas de la Provincia de Canarias para establecer un pantano en el barranco de Las Lajas, construyendo un muro de presa de 16 metros de altura. El embalse ocupará una longitud de 146 metros del cauce del barranco para una capacidad de 41.967,156 m^3.

El Proyecto de la Presa de Don Policarpo, firmado por el Ingeniero D. José Claudio el 5 de agosto de 1907, escoge como emplazamiento del muro un sitio distante 120 metros aguas abajo de la confluencia del Barranco de las Lajas con un pequeño barranquillo tributario por su margen derecha. La ubicación de la actual Presa de Tamadaba en el Barranco de las Lajas, con Proyecto de 1940 y construida entre 1943 y 1954 de un Proyecto Modificado, coincide totalmente con el emplazamiento propuesto 30 años antes para la Presa de Don Policarpo.

Algunos apartados de la Memoria del Proyecto de la Presa de Don Policarpo

Disposición de la sección del muro

Este muro afectará al interior un talud de 0,20 metros por metro y el exterior se dispondrá en escalones que medirán un saliente de 0,80 metros por cada 2 metros de alto, cuya disposición se corresponde con la inclinación que afectará un talud de 0,40 metro por metro.

La altura máxima del muro, medida desde el fondo inferior del talweg hasta su enrase superior se fija en 16 metros, y su longitud, referido al mismo enrase, resultará de 114,00 metros, disminuyendo hasta uno en la base según lo exija la inclinación de las estribaciones de los márgenes donde abrocha. Los anchos o espesores de la obra variarán, como es consiguiente, con arreglo a las alturas, en la forma y modo que resulta de los cálculos.

Modo de cimentación del muro

En el talweg o fondo del barranco descansará el muro directamente sobre una banqueta de mampostería ordinaria de 1,00 metro de altura, que será un apoyo intermedio sobre la excavación del suelo, la cual se rellenará, lo mismo que las de las vertientes de las márgenes, con hormigón hidráulico. Estas excavaciones tendrán la profundidad suficiente para que la obra obtenga con las rocas de suelo y costados un perfecto aprovechamiento.

La caja que se abrirá a estos efectos, tanto en el lecho como en los márgenes, tendrá, ajustándose a las sinuosidades del suelo, 0,50 metros de profundidad

mínima. De esta disposición resultará una forma escalonada que no deberá presentar, lo mismo en el lecho que en las márgenes, superficies planas de asiento, igualmente en el sentido horizontal que en el vertical, sino que formará por el contrario rugosidades pronunciadas con el fin de establecer la mejor trabazón o liga de la fábrica con la roca que le ha de servir de apoyo.

Además del muro de presa expresado, se propone por los costados al embalse muretes de defensa de 1,00 metros de altura y paramentos verticales para evitar los peligros consiguientes a las personas y animales.

Aliviadero de superficie

Este irá abierto en la zona de la margen izquierda y verterá sus aguas en una zanja que le sigue a continuación, hasta desaguar en el lecho del barranco, apartando el desagüe convenientemente del muro de presa.

Clase de fábrica

El muro se proyecta de mampostería ordinaria en toda su altura, excepto en los abrochamientos con la roca donde se funda. Por la parte interior se revocará y enlucirá con mortero de cemento y por el exterior se revocará con mortero común a piedra descubierta.

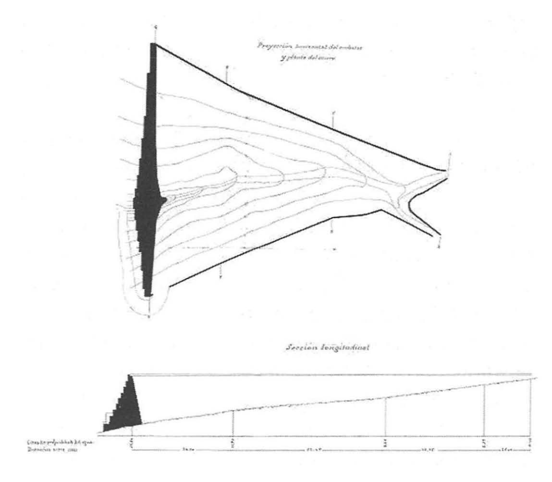


Figura 2
Proyección horizontal del embalse, planta del muro y sección longitudinal

Los condicionantes de la administración en 1909

El 20 de Julio de 1909, el Ingeniero de la Jefatura de Obras Públicas de la Provincia de Canarias, D. Juan Campos Estrems, señala lo siguiente sobre el Proyecto de la Presa de D. Policarpo:

> Si bien es deficiente en algunos puntos permite formar idea de las obras y dada la escasa importancia de éstas puede servir de base á la concesión. Las disposiciones propuestas para las diferentes partes de la presa son aceptables teniendo en cuenta la consideración apuntada y aunque los cálculos presentados en la Memoria son ligeros y se basan en hipótesis y consideraciones susceptibles á veces de rectificación las formulas empleadas son exactas y conducen á resultados admisibles.
>
> Llama la atención por lo que á las clases de fábrica se refiere el empleo casi exclusivo que se propone de las mezclas de cal ordinaria utilizándose los morteros hidráulicos únicamente en el hormigón de cimientos y enlucido de la parte interior del muro de presa. La experiencia de obras análogas de la provincia, en las cuales se observa que por la naturaleza de los materiales empleados los morteros de cal se colmatan con las primeras filtraciones haciéndose impermeables al cabo de poco tiempo justifica la preponderancia de los materiales de esta clase, no obstante lo cual creemos debe imponerse al peticionario la condición de emplear morteros hidráulicos en toda la parte interior del muro hasta el espesor de 0,60 m de análoga manera á como se ha hecho en otros embalses construidos en las mismas condiciones, obteniéndose así la más conveniente impermeabilidad.

El propio Ingeniero añade al final del Informe que «es procedente la concesión referida», pero debiendo quedar sujeta a una serie de condiciones, entre las que destaca la tercera, «las obras se ejecutarán con arreglo al proyecto aprobado pero se emplearán morteros hidráulicos en vez de las mezclas propuestas de cal ordinaria en toda la parte interior del muro de presa y en un espesor de sesenta centímetros».

Análisis comparativo de las cuatro presas construidas por D. José Samsó Herníquez entre 1940 y 1954 en el barranco de Las Lajas

En Canarias existe una gran tradición en la construcción de presas de mampostería; así son todas las construidas hasta la última década. Se siguen construyendo en la ac-

tualidad alternando con las de hormigón ciclópeo. El comportamiento ha sido bueno en la mayor parte de ellas (Ingeniero de Vigilancia D. Manuel Alonso Franco 1968).

El 15 de febrero de 1940 D. José Samsó Henríquez solicitó la autorización «para ejecutar tres embalses escalonados, con capacidad de 160.657 m^3 en el Barranco de los Ancones» (Barranco de las Lajas) y el «aprovechamiento de la totalidad de las aguas públicas discontinuas sobrantes en los barrancos de Siete Pinos, Los Ancones y los afluentes del barranco de Guayedra, hasta la cantidad de 10.565 litros por segundo, en el término municipal de Agaete».

El Proyecto de los tres embalses escalonados en el Barranco de los Ancones, de fecha 30 de marzo de 1940, fue redactado por el Ingeniero de Caminos D. Ruperto González Negrín.

En el Acta de replanteo de los tres embalses escalonados, con fecha de 17 de febrero de 1941, donde se examinaba el Proyecto y su confrontación del mismo sobre el terreno, «quedó fijada la ubicación del muro de la presa más alta, por la del paramento de aguas arriba, con cota de 1.130 metros; la de las otras dos presas acusaron las cotas 1.040 y 1.010 metros respectivamente. Se replanteó seguidamente horizontal y verticalmente los tres muros de presa, y la curva de nivel a que llegarán las aguas de los tres embalses, coincidiendo sensiblemente con la situación y dimensiones que señalan los planos del proyecto. La coronación de los muros de presa quedó fijada a 15 metros sobre los sitios de su emplazamiento».

Las secciones tipo de la Presa de Tamadaba (La Hoya) que aparecen en todos los inventarios y documentos consultados: como el Inventario de Grandes Presas de la isla de Gran Canaria de 1972 (Proyecto Canarias SPA-15), el Inventario de Presas Españolas del MOPU. (1986), o en el reciente libro *Presas de Gran Canaria* del Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria (2005); son del Proyecto de 1940. Pero la historia de la construcción de las tres presas en el Barranco de Las Lajas originó que la sección tipo de la gran presa fuese otra muy distinta.

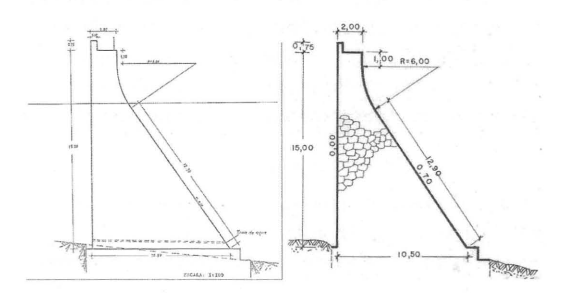


Figura 3
Sección tipo de las 3 presas escalonadas del Proyecto de 1940 (Fuentes: Proyecto Canarias SPA-15 y MMA)

El 9 de agosto de 1941 se le otorgó a D. José Samsó Henríquez la autorización necesaria para construir las tres presas escalonadas en el Barranco de las Lajas, así como el aprovechamiento para su lleno de 10.565 litros por segundo de los barrancos de Siete Pinos, Los Ancones y los afluentes de Guayedra, hasta la total capacidad de 160.657 m^3.

El 3 de septiembre de 1943 la Jefatura de Obras Públicas de Las Palmas accede a autorizar una modificación del Proyecto de 1940. En el Proyecto Modificado de tres embalses escalonados en el Barranco de los Ancones (Barranco de las Lajas), con fecha 28 de abril de 1943, el nuevo proyectista señala lo siguiente sobre el Proyecto inicial de 1940: «los muros de presa de dichos tres embalses estaban proyectados de mampostería ordinaria con mortero de cal, y el paramento mojado lo formaba una pantalla de mampostería hidráulica, todo ello para un perfil de gravedad».

Así pues, el Ingeniero D. Ruperto González Negrín proyectó las tres presas escalonadas en el Barranco de Las Lajas con 15 metros de altura, con perfil de gravedad y con una pantalla de mampostería hidráulica en el paramento mojado. Desconocemos cual era el espesor de la pantalla, pero el perfil de gravedad de la presa y la utilización de la mampostería hidráulica en toda la parte interior del muro coincide con el tercer condicionante que le había impuesto en 1909 la Jefatura de Obras Públicas de la Provincia de Canarias al Proyecto de la Presa de Don Policarpo. También hay que destacar que la presa propuesta para la cota 1.010 metros coincide, exactamente, con la cerrada escogida en 1907 para la ubicación de la Presa de Don Policarpo.

En el Proyecto Modificado de los tres embalses escalonados también se señala la finalización de la construcción de una tubería que, con una longitud superior a 12 km y con un «atrevido» sifón en el Valle de Agaete (desde la meseta del Pinar de Tamadaba al cauce del Barranco de Agaete hay un desnivel de 800 metros), conducirá las aguas desde Tamadaba hasta Gáldar.

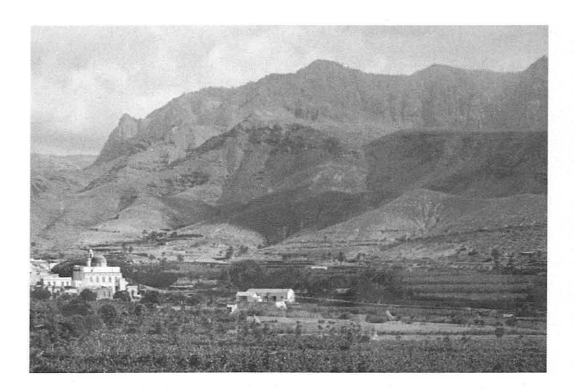


Figura 4
Vista de Tamadaba desde El Angosto (Agaete), año 1962. En la foto, cedida por D. José de Armas Díaz (Archivo *Legajos de Tamadaba)*, destacan la Montaña de Berbique (Bisbique) y la Montaña de las Presas, así como los riscos sobre Guayedra.

Así pues, los primeros trabajos se concentraron en la construcción de la tubería, ya que como señala el desconocido proyectista de la Modificación del Proyecto inicial de 1940, «en las circunstancias actuales resulta prohibitiva la construcción de los embalses en la forma proyectada, debido a la escasez de materiales por el enorme precio de los transportes, hasta la elevada meseta, de los aglomerantes necesarios».

Para la construcción de las presas en el Cortijo de Samsó, al igual que los estanques, los canales y las tuberías, los materiales (salvo la piedra, la arena y el agua) tenían que ser llevados en camión hasta el interior del Valle de Agaete. La arena se recogía del propio cauce del Barranco de Agaete, por lo que todos los materiales, menos la piedra y el agua, eran subidos a la meseta de Tamadaba desde el valle por los hombres y por un par de mulos. El camino, con un desnivel de 800 metros, era una senda que sube serpenteando por una impresionante vertiente de abruptas laderas y riscos hasta la meseta del Pinar de Tamadaba.

La modificación del Proyecto de 1940, «consistente en sustituir los embalses proyectados por otros del mismo emplazamiento, pero con perfil tipo escollera», según señala el Ingeniero del Proyecto Modificado, tiene su concepción en la necesidad de reducir al mínimo el transporte de materiales desde el Valle de Agaete.

El nuevo presista señala en el Proyecto de 1943 que estudió la solución de presa de escollera «por el pequeño volumen de aglomerantes que era necesario transportar del valle, y por lo apropiada que resulta la piedra de Tamadaba para esta clase de construcción». También describe minuciosamente la solución pensada para construir las tres presas escalonadas tras examinar «las construcciones de estanques en el país, especialmente en la zona de Gáldar», resultando además de que la altura de los muros no era excesiva (15 metros). La solución que aporta el Proyecto Modificado de los tres embalses es la siguiente:

a) Cuerpo del muro de mampostería en seco, muy bien asentada y ripiada, para evitar todo asiento.
b) Pantalla formada de mampostería hidráulica con espesores crecientes de la superficie al fondo.
c) Enlucido con mortero bastardo de cal y cemento, que tan buen resultado ha dado en el país porque suprime las grietas de retracción de fraguado.

El proyectista señala finalmente que «por tratarse de una innovación se creyó conveniente efectuar un ensayo de este tipo de muro y para ello se construyó en la finca de Tamadaba una pequeña presa de 9 metros de altura y 8.000 metros cúbicos de capacidad en la cabecera de un barranquillo, con el sistema descrito y perfil más esbelto que el adoptado para las presas» en el Proyecto de 1940. Se trata de la Presa de Los Rajones.

> Terminó dicha construcción en el pasado otoño de 1942, habiéndose llenado varias veces con las intensas lluvias de este último invierno, con resultado tan satisfactorio y tanta economía en su construcción que ya no nos quedó ninguna duda sobre la solución que había que adoptar.

El verdadero presista del Proyecto Modificado de los tres embalses escalonados en el Barranco de los Ancones fue el Ingeniero de Caminos D. Rafael Ynzenga.

En el pliego de condiciones facultativas se señala que el Proyecto Modificado «se limita a un cambio de estructura de los muros de presas, de los dos embalses inferiores». Esto es así porque el tercer embalse ya había sido construido, aunque a modo de ensayo, en la misma cerrada escogida para el Proyecto de

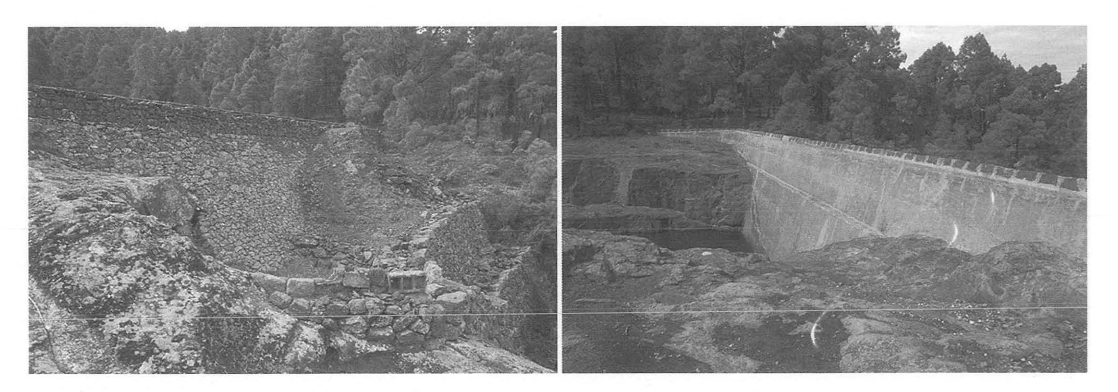


Figura 5
La Presa de Los Rajones

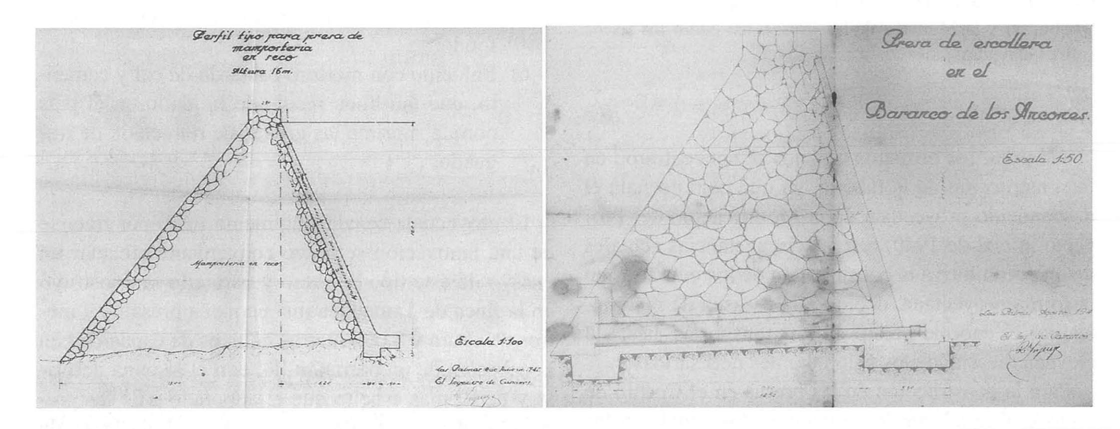


Figura 6
Secciones tipo Presa de escollera y de Mampostería en seco firmadas por el Ingeniero de Caminos D. Rafael Ynzenga en 1942

1940 («quedó fijada la ubicación del muro de la presa más alta, por la del paramento de aguas arriba, con cota de 1.130 metros»).

Los muros que se han de construir son de mampostería en seco, con una pantalla impermeable, de la forma y dimensiones que se fijan en los planos. La pantalla queda fuertemente cimentada y el cuerpo del muro de mampostería en seco va apoyado directamente sobre el terreno previamente desprovisto de la roca descompuesta y terreno flojo. En la ejecución de la fábrica de mampostería ordinaria, después de limpios y mojados los mampuestos se sentarán a baño flotante de mortero, golpeándolos con el martillo hasta que este refluya por todas partes. Los huecos visibles que dejan entre si las piedras se rellenarán con fragmentos de tamaño adecuado sentados sobre mortero en abundancia y los intersticios que queden se ripiaran con cuñas delgadas introducidas a martillo.

Respecto a la ejecución de la mampostería en seco:

Los mampuestos que han de ser del mayor tamaño posible se procurará que vayan bien aparejados, rellenando y ripiando los huecos existentes de tal modo que estos queden reducidos al mínimo. Se colocarán por hiladas curvas según se indica en el perfil tipo, con l concavidad hacia aguas arriba, para evitar el deslizamiento. Se hará el

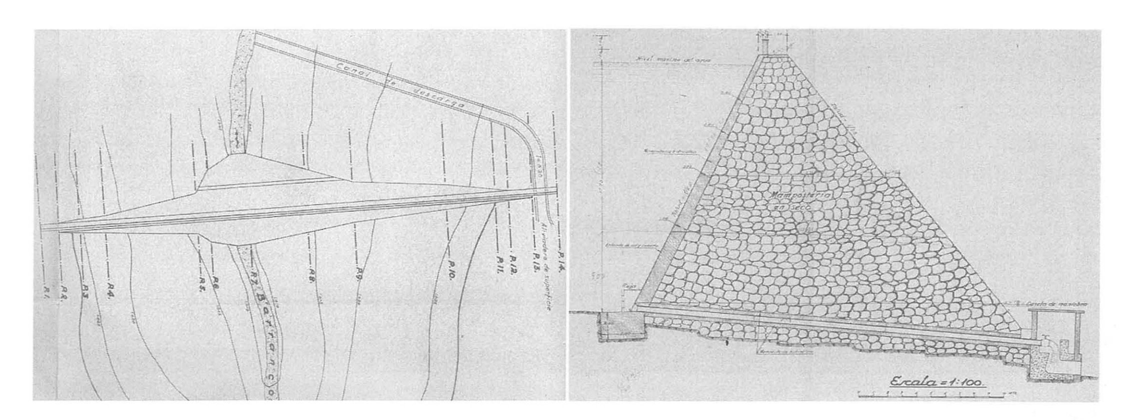


Figura 7
Sección tipo de los dos embalses inferiores del Proyecto Modificado de 1943 y la planta del embalse Nº 3 (Presa de Tamadaba o Presa de la Hoya)

enlucido antes de que se haya secado la mampostería, con mortero bastardo de cal y cemento para evitar los agrietamientos.

Respecto a los materiales, en el pliego se señala las «condiciones a que deben satisfacer los materiales» (la cal, el cemento, las arenas y la piedra para mampostería), destacando que el mortero común se compondrá de una parte de cal previamente apagada y dos de arena; mientras que el mortero hidráulico se compondrá de tres partes de arena por una de cemento.

Por lo tanto, entre 1940 y 1943 no sólo se construyó la Tubería de Samsó, sino que también se construyó la Presa de los Rajones, que a modo de ensayo fue el ejemplo y el modelo para afrontar la construcción de la gran Presa de Tamadaba a partir de 1943 De los dos embalses inferiores del Proyecto Modificado de 1943, sólo la Presa de Tamadaba se construyó en la cota escogida en el Proyecto de 1940, ya que la presa número dos (con ubicación a cota 1.040) nunca se llegó a ejecutar, pero si la Presa de Las Lajas en una pequeña cerrada a cota 1.060.

El 19 de agosto de 1943, el Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos D. Alfonso Caballero de Rodas y Colmeiro señala en un Informe que «en el momento de la visita, se estaba limpiando el terreno en el sitio de emplazamiento del muro del embalse superior [la presa número dos]. En el embalse inferior [la Presa de Tamadaba] han sido iniciadas las obras del muro de presa con arreglo al perfil tipo de presa de escollera a piedra prendida en el cuerpo de la misma y una pantalla de impermeabilización de mampostería hidráulica y enlucido con mortero bastardo. La altura máxima en el momento de la visita era de 5 metros, y comprobados los taludes y espesor se vio que este era superior en un metro al que corresponde a esa al-

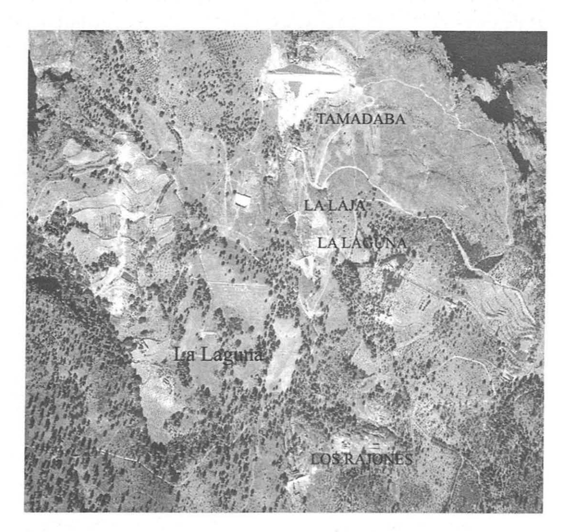


Figura 8
Las presas del Cortijo de Samsó en 1954 (Foto: Ejército del Aire)

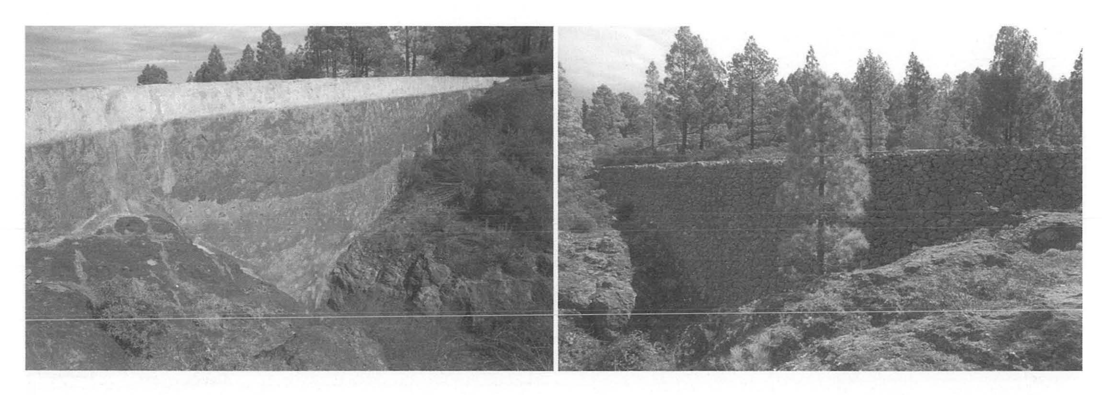


Figura 9
La Presa de las Lajas

tura según proyecto. Por lo demás las obras se ajustan en todo a dicho proyecto y su ejecución es esmerada. Los emplazamientos y alturas máximas, coinciden con los del proyecto con arreglo al cual fueron autorizadas las obras y por consiguiente la modificación propuesta no supone alteración en las condiciones del aprovechamiento».

El 31 de agosto de 1949, el Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos D. Rafael Ynzenga Caramanzana redacta un acta de reconocimiento de las obras de construcción de los tres embalses escalonados en el Barranco de los Ancones. Según señala el verdadero presista del Proyecto Modificado de 1943, «se encuentran terminadas las obras del aprovechamiento de los barrancos de Siete Pinos y afluentes de Guayedra consistentes en tomas cuyos módulos se ajustan a los proyectos que sirvieron de base a la concesión. Se encuentran, así mismo, terminados los canales [Canal de Tamadaba, Canal de los Tesos y el Canal el riego de la Saavedra] que conducen esas aguas al embalse número tres [Presa de Tamadaba], el más bajo de los proyectados, situado en el barranco de los Ancones, único que se encuentra en estado de construcción avanzada».

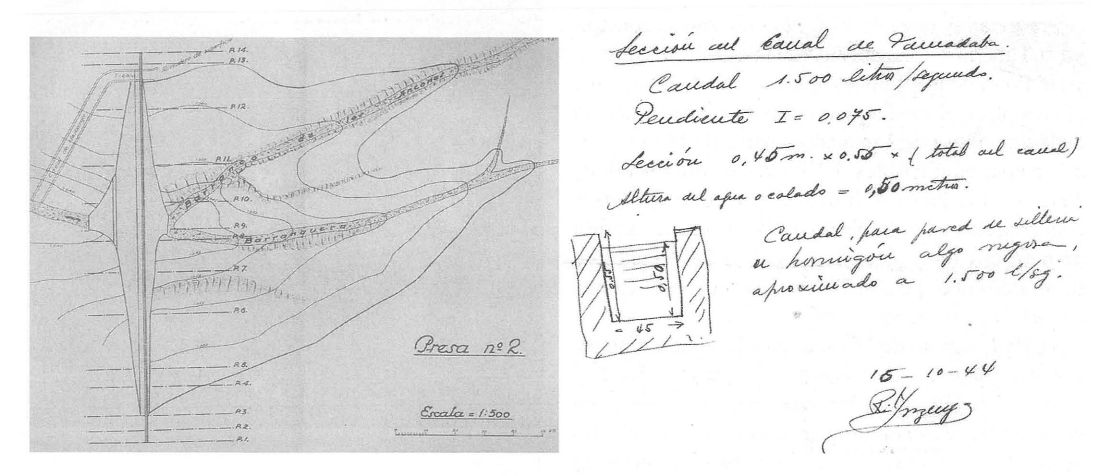


Figura 10
Planta del embalse Nº 2 del Proyecto de 1943 y Sección del Canal de Tamadaba

El muro de presa del embalse tres se encuentra casi terminado, faltándole al muro de mampostería en seco dos metros de elevación para su total terminación. Las dimensiones del muro se ajustan a las fijadas en el proyecto. Las condiciones de seguridad son mayores y han de serlo mayores pues el concesionario está procediendo a arrojar por la parte de aguas abajo el escombro sobrante de la construcción y de la cantera con lo cual resulta considerablemente aumentado su espesor. El aliviadero de superficie resulta insuficiente en el estado actual de avance de las obras por lo que el concesionario se compromete a darle las dimensiones previstas en el plazo más breve posible, elevando el muro en la altura que falta.

El embalse número dos se encuentra en el periodo de iniciación de las obras, esto es, en la excavación de cimientos presentándose la roca sana y al descubierto sin tierra que la recubra. Manifiesta el peticionario que ahora le será posible terminar en un plazo prudencial, dentro de la prórroga solicitada, la totalidad de las obras debido a que recientemente ha sido terminada la pista carretera que le permitirá el suministro de materiales en condiciones de economía y con la continuidad necesaria.

El 14 de octubre de 1953 D. José Samsó Henríquez solicita se le conceda una prórroga de cuatro años para la total terminación de la Presa de Tamadaba y la presa nº 2. El Informe de la Jefatura de Obras Públicas de Las Palmas con fecha 14 de junio de 1954 señala que a la Presa de Tamadaba le falta, en el momento del reconocimiento, aproximadamente un metro para su enrase. El embalse inmediatamente superior no ha sido iniciado, y tan sólo se aprecia la existencia de la zanja de cimientos.

El 16 de junio de 1954 se le concede a D. José Samsó Henríquez una última y definitiva prórroga de 4 años para la finalización de los dos embalses. A pesar del interés de D. José Samsó por terminar las dos presas, la Presa nº 2 no se construyó nunca, mientras que la Presa de Tamadaba (el embalse Nº 3) quedó aproximadamente a un metro para su enrase. En cambio, si construyeron, y fuera de todo proyecto, la pequeña Presa de Las Lajas y una presa aguas arriba que llamaron la Presa de La Laguna (cota 1.070), por la proximidad de la misma a La Laguna, un estanque de barro y mampostería (¿o una presa?) del siglo XIX.

El muro de La Laguna se localiza en la cabecera de un barranquillo que drena el interfluvio que separa el Barranco de las Lajas del Barranco de Saavedra (Barranquillo Oscuro). La Laguna tuvo un recrecimiento durante los años cuarenta, con el doble objeti-



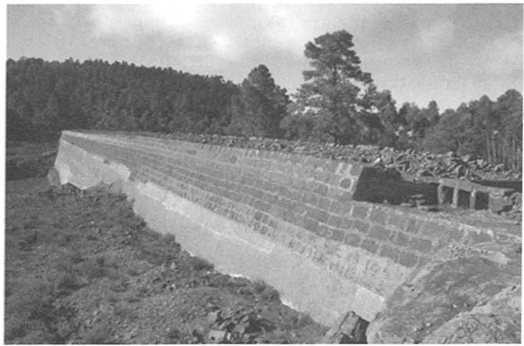


Figura 11
La presa de Tamadaba (15 m). Perfil tipo para presa de mampostería en seco con pantalla formada de mampostería hidráulica con espesores crecientes de la superficie al fondo



Figura 12
La Laguna. Muro y caballón de tierra (arcilla)

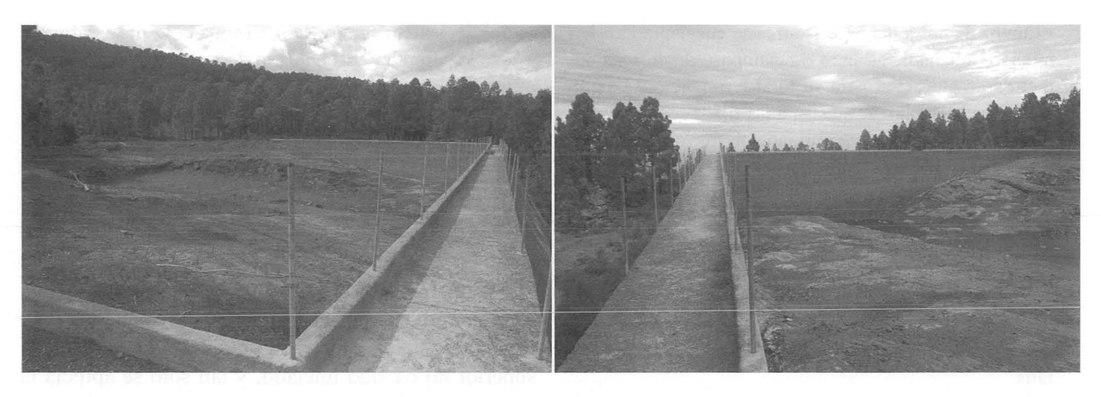


Figura 13
La Presa Nueva

vo de aumentar su capacidad de almacenamiento, así como de su estabilidad para evitar una «cochina».

La ejecución del Proyecto de muro de presa en Tamadaba, con fecha de Febrero de 1972, significó la destrucción de la pequeña Presa de La Laguna, cuya altura era de 4 metros. En la fotografía aérea de 1954 se aprecia la orla blanca de su vaso.

A pesar del interés de D. José Samsó por finalizar las presas del Proyecto de 1943, la foto aérea de 1954 nos confirma y señala que las presas de Las Lajas y de La Laguna se construyeron, posiblemente, durante los años cuarenta, al mismo tiempo que la Presa de Tamadaba. La Presa de las Lajas tuvo su concepción y nacimiento por La Vaquería que se construyó a la derecha del vaso de la Presa de Tamadaba, por lo que el objeto de la presa fue el almacenamiento de agua para los animales. En cambio, la concepción de la Presa de la Laguna es un misterio, tal vez para frenar y recoger las aguas del Canal de Tamadaba aguas arriba de la que era la gran obra de almacenamiento de agua, la Presa de Tamadaba; o tal vez porque alguien observó que era una cerrada con posibilidades que los proyectos de 1940 y 1943 no habían tenido en cuenta. Tras 20 años de vida, el Proyecto de 1972 se aprovechó de la cerrada de la Presa de la Laguna, sin duda por las posibilidades expansivas que la vieja presa mostraba en los años con lluvia.

Pero en el Proyecto de la Presa Nueva, lo que verdaderamente llama la atención es que su desconocido proyectista no señalase nada acerca de la existencia y destrucción de la Presa de La Laguna. No hubo proyecto para su construcción y tampoco para su destrucción.

La Presa Nueva, tal y como se la conoce desde su construcción, «es del tipo gravedad de planta en ángulo de 149 grados centesimales con una altura sobre el cauce de 11 metros y una altura sobre cimientos de 13 metros con un talud en el paramento de trasdos de 0,05 y en el paramento de intrados de 0,80. La longitud de coronación es de 118,70 metros» (alineaciones: 75 metros y 43,70 metros). Según el Proyecto, «el tipo de fábrica será de hormigón en masa», pero de la historia de su construcción sólo nos interesa saber que la Presa Nueva se construyó en la misma cerrada que la vieja Presa de La Laguna.

Consideraciones finales

Si el lector concuerda conmigo en que Gran Canaria es «la isla de las presas por excelencia», y que de todas sus presas, ya sean grandes o pequeñas, la historia de la construcción de las Presas del Cortijo de Samsó ha sido una historia que ha valido la pena rescatar del tiempo, debo dejar entonces a su consideración el decidir si he supuesto demasiado al pensar que su construcción, producto de la artesanía heroica, es un magnífico ejemplo de cara a la actualidad, ya que son muchas las veces que las siempre altas técnicas modernas no tienen en cuenta las posibilidades expansivas de la artesanía del lugar.

El Proyecto de los tres embalses escalonados de 1940 en el Barranco de las Lajas sólo se centró en las

tres cerradas del barranco, pero no tuvo en cuenta la localización del barranco en la Meseta del macizo de Tamadaba, es decir, su aislamiento topográfico con respecto al fondo del Valle de Agaete y su lejanía con la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria.

La solución del verdadero Ingeniero de Caminos del Proyecto Modificado de 1943 es un caso excepcional en la construcción de presas en la isla de Gran Canaria. No hay otra presa similar a la gran Presa de Tamadaba y su ensayo, la Presa de los Rajones. Ambas presas, con sus pantallas de mampostería hidráulica con enlucido con mortero bastardo de cal y cemento, forman parte del conjunto de presas de escollera de la isla (Tirajana, Siberio y Piquillo).

D. Manuel Alonso Franco señalaba en 1968 «que en Canarias existe una gran tradición en la construcción de presas de mampostería; y que su comportamiento ha sido bueno en la mayor parte de ellas». Pero en el Proyecto de Embalse en el Barranco de María, con fecha de 1950, uno de los mejores presistas que ha habido en la isla, el Ingeniero de Caminos D. Julio Alonso Urquijo, ya señalaba que «la fabricación de mampostería, de ejecución más lenta, aunque no era un gran obstáculo por el clima de la isla, ofrecía la ventaja de ser menos expuesta a la formación de grietas, lo cual permitía prescindir de proyectar juntas de dilatación; y que la fabricación de mampostería era el hábito constructivo en Gran Canaria». Hasta que a partir de 1961 llegaron a la isla las siempre altas técnicas modernas. Tengo una pregunta que hacerle al Ingeniero D. Emilio Benítez Pascual, ¿podía haberse construido la gran Presa de Siberio con una pantalla de mampostería hidráulica con enlucido con mortero bastardo de cal y cemento?

Por último, que pena que D. José Samsó Henríquez no construyera finalmente la presa en el Barranco de María, aguas abajo de la Presa de Tamadaba, con cota de 305 metros. Si algún día se construye una presa en esa cerrada, aunque sea un muro tipo «esponja», que se tenga en cuenta el Proyecto de 1950 de D. Julio Alonso; y que se la conozca como la Presa de Don José Samsó.

Agradecimientos

El autor quiere agradecer profundamente el apoyo recibido a la investigación a los siguientes patrocinadores: Arquitectos Eva Martínez Úbeda y Juan A. Sánchez Hernández, a la ingeniería industrial Sasetti Canarias, a 3G Ingeniería y Gestión de Proyectos y Obras, y a la consultora Auditorias Ambientales de Canarias.

También tengo que expresar mi agradecimiento a los Herederos de D. José Samsó Henríquez, al Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria y a Cartográfica de Canarias (GRAFCAN). Y por último, y de manera muy especial, mi agradecimiento «al niño de 7 años que subía el camino con 5 kilos de cal en una lata de aceite», D. Juan Jiménez Medina.

Lista de referencias

González Gonzálvez, Jaime J. 2004. *Tengamos agua y lo tendremos todo. Las grandes presas de Gran Canaria*. Las Palmas de Gran Canaria: 3G Ingeniería y Gestión de Proyectos y Obras.

González Gonzálvez, Jaime J. 2006. «Tengamos agua y lo tendremos todo. Las grandes presas de Gran Canaria». En *Actas del II Congreso Nacional de Historia de las Presas*. Burgos: Sociedad Española de Presas y Embalses (SEPREM), Ministerio de Medio Ambiente.

González Gonzálvez, Jaime J. (Inédita). *6 Presas, 7 Estanques y una Tubería. La Ruta del Agua en el Cortijo de Samsó. Tamadaba, Gran Canaria.*

La arquitectura escrita del Fraile Carmelita Descalzo Joaquín del Niño Jesús (1760–1830)

Víctor González Lozano

De Joaquín Faldos a fray Joaquín del Niño Jesús «el arquitecto»

Joaquín Fandos nace entre los años de 1759–1762, (no se tiene precisión), en la ciudad de Zaragoza, España. Hijo de Simón Fandos y Vicenta Sierra. Desde muy joven se inclinó por llevar una vida inmersa en los estudios. Antes de formalizar si ingreso en la Orden Carmelita realizó dos años de estudios de «Philosofia», que abandona debido a la atracción que siente por la arquitectura. En un documento que corresponde al Memorial escrito por el Fraile Joaquín del Niño Jesús en 1785, se afirma lo siguiente,

> y emprendió la carrera de Arquitecto y matemático, estudiando con los Maestros mas reconocidos de esta Ciudad donde después fue examinado y admitido en el Gremio de maestros de Obras. Fue uno de los operarios en la recomendable Capilla del Pilar, dirigió diferentes obras de Arquitectura, e hizo 2 para la iglesia y para una Capilla de Comunión, hizo la nibelación, Plan y Proyecto de un cauze o Acequia (Aldea Hernández 1998).

No existe precisión con respecto a su ingreso en la Orden. Tomando en cuenta que la primera fecha constatada donde profesa como hermano Carmelita, es en 1778, el Padre José León (2003), en su ensayo informativo inédito, explica que, «según las normas canónicas de su tiempo debería cumplir al menos un año de noviciado precedido de un tiempo prudencial de postulantazo, que en los hermanos «de obediencia» solía ser más largo». Por todo esto, el padre León concluye que su ingreso pudo ser entre los años de 1775–1777. El Fraile Joaquín del Niño Jesús muere en la ciudad de Huesca, en el año de 1830, a consecuencia de una pulmonía aguda mientras realizaba la inspección de la rotura del pantano.

Como se afirmó anteriormente, entre las primeras obras de arquitectura, luego de conseguir el título de Maestro de Obras, figuran la elaboración de la Capilla de la Virgen del Pilar; así como la intervención en la iglesia del Carmen; elaboró los planos del Obispado de Zaragoza y de Tudela; asimismo desarrolla proyectos de obras civiles como el Camino Nuevo de Zaragoza a Tortosa en 1782, entre otros.

Siendo parte de la orden Carmelita Descalzo, el Fraile continuó desarrollando con mayor fervor, proyectos arquitectónicos. Asimismo, no se conformaba con ser sólo un Maestro de Obras, él quería ser Arquitecto; quizás motivado por la situación que acontecía a mediados del siglo XVIII, en España, donde los Maestros de Obras las distintas Órdenes religiosas eran «mal vistos» por el gremio de constructores.

En el artículo escrito por Manuel Expósito Sebastián, se describe como, a raíz de la gran cantidad de trabajo realizado por los monjes, que incluso sobrepasa los límites conventuales, se involucran con el desarrollo de todo tipo de construcciones. Así lo expone,

> En mayo de 1768, Miguel Barta, Cristóbal Estorguía, José Gabas y Alberto Aquilue, respectivamente, mayordomos de los gremios zaragozanos de albañiles y carpinteros, elevaron un memorial al fiscal del Consejo de Cas-

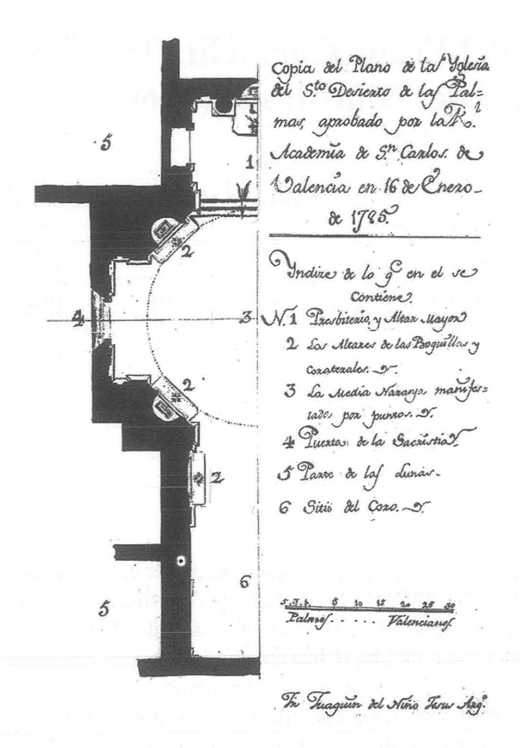


Figura 1
Iglesia del Desierto de Las Palmas, Castellón. Planta de tierra (León 2003)

> tilla, solicitando, conforme a sus ordenanzas, se prohibiera «que las obras de las casas y edificios de los conventos las dirigan y hagan religiosos de las misma orden. Lo que, según se desprende de su exposición, era norma común y extendida en la ciudad, originando la miseria de los maestros y sus familias, así como la decadencia de las artes (Expósito Sebastián 1986).

Esto, no solamente impedía tanto para el Fraile Joaquín como para otros constructores de las distintas órdenes, llevar a cabo su labor, sino también, generaba un ambiente de dudosa credibilidad con respecto a su ejercicio. Quizás, dentro de sus objetivos, el Fraile quería ser visto, a los ojos del Gremio Constructor y la Academia, como arquitecto para que se le tratase como tal, y así disipar la «mala fama» que se atribuía a los frailes constructores.

En el año de 1785, en Junta Ordinaria del 16 de enero, la Real Academia de Bellas Artes de San Carlos de Valencia, aprobó los planos elaborados por el Fraile Joaquín del Niño Jesús para el Convento del Desierto de las Palmas, Castellón (Bérchez y Corell 1981). En ese mismo año, se plantea formalmente la idea de obtener el título de Arquitecto. Para ello, presentó ante esa misma instancia, el diseño de un templo, el cual después de haber sido aprobado no cumplió con el número mínimo de votación estipulado en el Estatuto de la Academia, por lo que se le eximió de obtener dicho título (fig. 1).

El revés no lo desanimó, al contrario, continuó participando en toda actividad propuesta por la Academia de San Carlos. En 1786, obtiene el Premio de Primera Clase, por el proyecto (planta, fachada principal y sección) de un Hospicio. Además, realizó un ejercicio de tiempo, conocidos como «de repente» donde proyectó un arco triunfal (figs. 2, 3, 4, 5).

En 1789, optó nuevamente para obtener el título de arquitecto. Para ello presentó el proyecto de una Casa para Academia de las Nobles Artes. La junta Ordinaria de la Real Academia de San Carlos, de

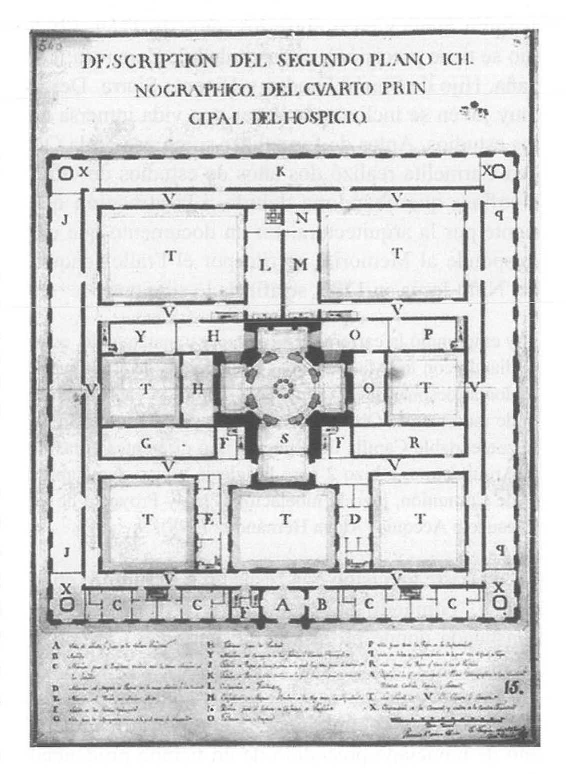


Figura 2
Hospicio. Planta del piso de tierra (Bérchez y Corell 1981)

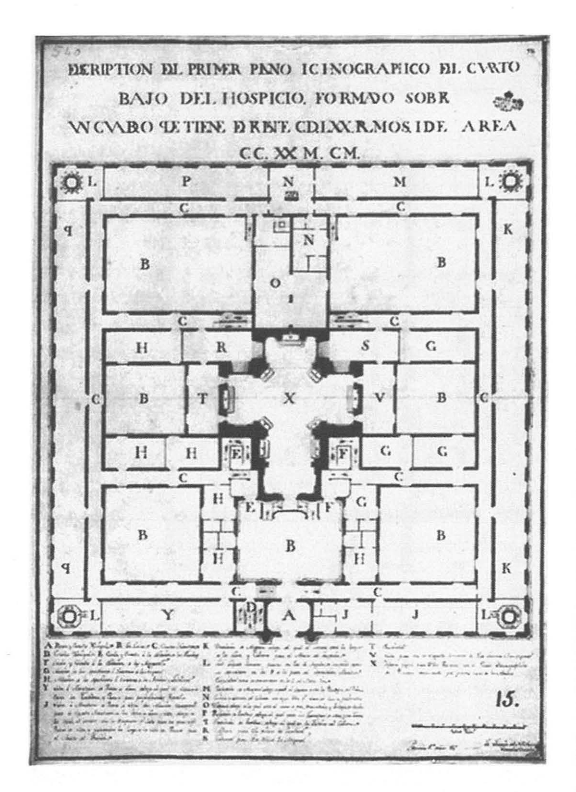


Figura 3
Hospicio. Planta principal (Bérchez y Corell 1981)

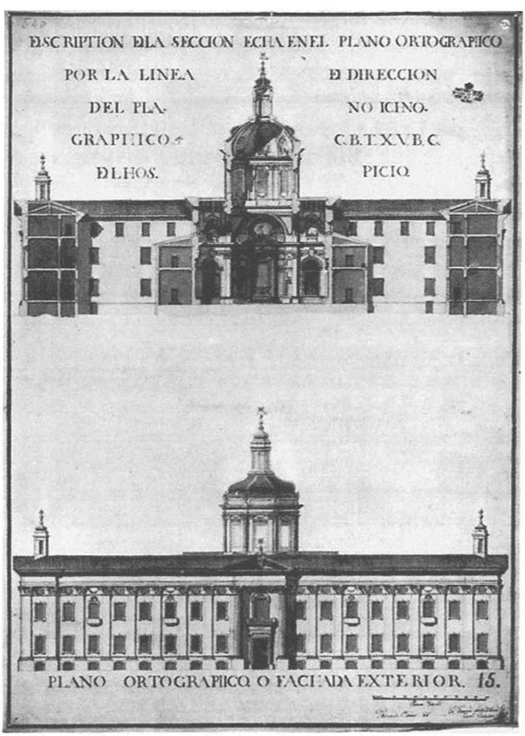


Figura 4
Hospicio. Sección transversal y fachada principal (Bérchez y Corell 1981)

manera unánime, acordó que se le otorgase el título de arquitecto pero, con la salvedad de que sólo podía ejercer dentro del ámbito religioso de su Congregación (figs. 6, 7, 8).

A pesar de haberle limitado el ámbito para ejercer como arquitecto el Fraile diseñó y construyó una gran cantidad de obras civiles de arquitectura; principalmente en las zonas de Aragón; la Comunidad Valenciana y en Tarragona. Ejecutó proyectos de puentes y caminos; hospicios e iglesias; y hasta fortificaciones, construcciones que realizó durante la guerra contra los franceses en las primeras décadas del siglo XIX (tabla 1).

Los escritos de fray Joaquín del Niño Jesús relativos a la arquitectura

El fraile Joaquín del Niño Jesús, guiado quizás por la misión religiosa de servir a su semejante, procuró siempre enseñar a los demás todos sus conocimientos, no solamente a través de sus escritos, que son muchos y variados, también se interesó por lo que enseñaban los catedráticos, y en especial, los de la Real Academia de Bellas Artes.

Los escritos registrados son muy diversos; abarcan temas de distinta índole: manuales de jardinería, tratado de árboles y sobre el cultivo de hortalizas; así como un tratado sobre fuegos de olor, de teatro, de placer y de guerra; tratados sobre mecánica y fábricas de hidráulica y el manual del molinero. De igual forma, dejó escritos sobre su mayor pasión: la arquitectura y la construcción.

La atención se centrará especialmente en dos escritos que tienen como materia principal, la arquitectura y la construcción. El primero se titula: Principios de Albañilería o Manual de aprendices, el cual fue elaborado en Villafermés, el 13 de junio de 1812. El segundo escrito tiene que ver con un artículo apareci-

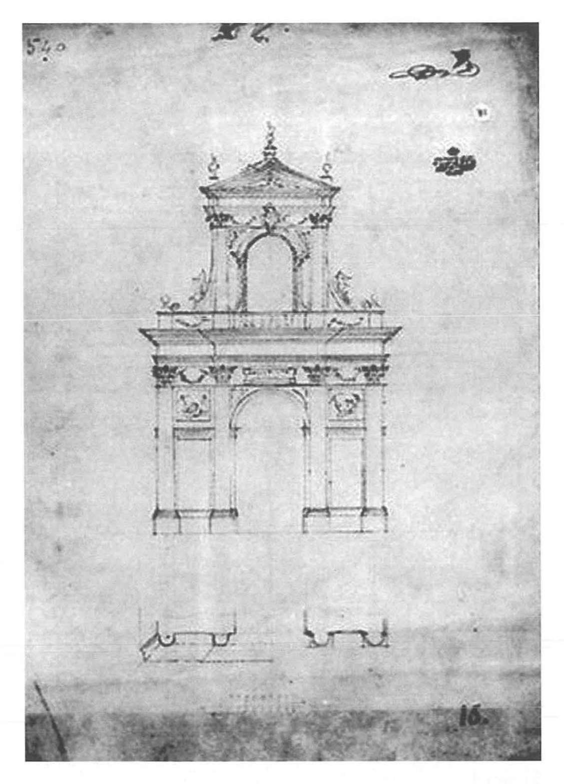


Figura 5
Arco triunfal erigido a un héroe (Bérchez y Corell 1981)

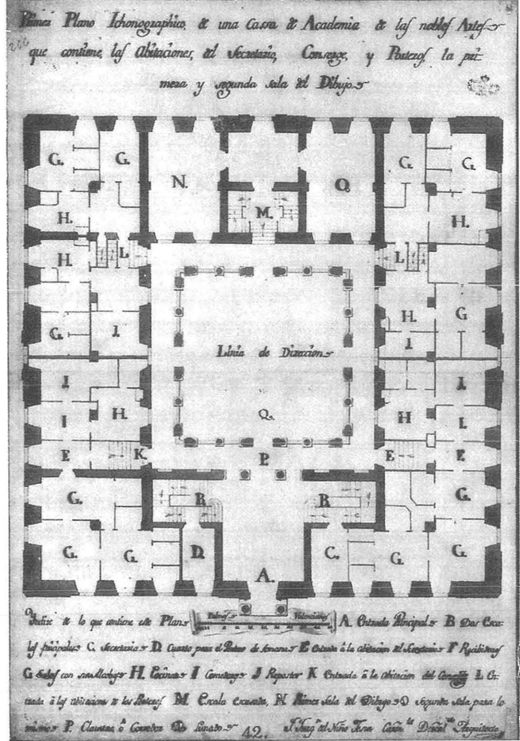


Figura 6
Cassa de Academia de las nobles artes. Planta del piso de tierra (Bérchez y Corell 1981)

do en el Diario de Zaragoza, el 7 de julio de 1818, en donde expresa el interés por desarrollar un tratado sobre arquitectura.

Existe otro texto que es un compendio de información derivado de la propia experiencia del fraile, una serie de temas que denomina: Colección de varias Memorias, las cuales fueron escritas en diferentes momentos de su vida pero que no están fechadas.

Principios de albañilería o Manual de Aprendices

El primer texto referido, que trata sobre los principios de albañilería se divide en una serie de puntos que, al verlos de forma general, se aprecia que el conocimiento se ha estructurado en cinco bloques. El primero tiene que ver con las nociones básicas de aritmética, trigonometría y geometría. El segundo bloque contempla aspectos relacionados con los materiales de fábrica (piedra, ladrillo), así como la madera. Además, se explican otros campos del conocimiento, relativos al tratamiento de la fábrica y la medición del terreno; («stereometría», «longimetría», «altimetría», «nibelación», «metamorphose»),[1] entre otras. La tercera parte consta de aspectos relativos a los tipos de terreno; pantanoso; arcilloso; con pendientes pronunciadas, entre otras. Asimismo, en esta parte, se comienza a hablar sobre aspectos de la construcción; de los muros, pisos, cubiertas, arcos y bóvedas. El cuarto bloque refiere aspectos relacionados con los servicios e instalaciones; y la quinta y última parte, consta de formularios y glosarios de términos.

Entrando en el desarrollo de la descripción del texto sobre los principios de albañilería, específicamente, en el apartado titulado «Del conocimiento de los

materiales», el Fraile describe los materiales utilizados en la construcción de obra de fábrica, estos son: la madera, el ladrillo, la piedra, la cal, la arena; sobre la mezcla de cal y arena y el yeso. En algunos casos, explica su comportamiento mecánico demostrando, con fórmulas, su resistencia a rotura.

La madera

Comienza su descripción, con la madera. Explica los distintos tipos que se pueden utilizar en la Península ibérica; como se deben hacer los cortes, encuadres. Continúa el Fraile dejando claro las condiciones que debe tener la madera para ofrecer una mejor resistencia a la carga. Según su experiencia, afirma que la más adecuada es la que presenta las siguiente cualidades: la más antigua es de mejor calidad; resulta de mayor calidad la del pié del árbol que la de la copa, así como la del centro es mejor que la cercana a la corteza; la madera no debe estar seca ya que pierde dureza; el corte de la madera se debe realizar por la fibra longitudinal ya que trabaja mejor que el corte transversal; y por último, hace énfasis en el tiempo que se mantiene cargada la pieza de madera. Así lo explica;

> se tiene obserbado que un madero que se puso orizontalmente de 18 p de largo, y 7 p' alto y ancho se rompió con la carga al centro de 9000û a la hora; otro de iguales dimensiones con 6000û que es 2/3 y con 4500û que es 1/2 pasados 2 años no habian echo vicio; de que resulta que si la carga ha de ser continua no se puede cargar mas de 1/3 y si es pasajera como en puentes de transito los 2/3 de lo que resulte por el calculo» (Fray Joaquín del Niño Jesús 1812).[2]

Resulta interesante la información que sugiere sobre el cálculo para conocer la resistencia de la made-

Figura 7
Cassa de Academia de las nobles artes. Planta principal (Bérchez y Corell 1981)

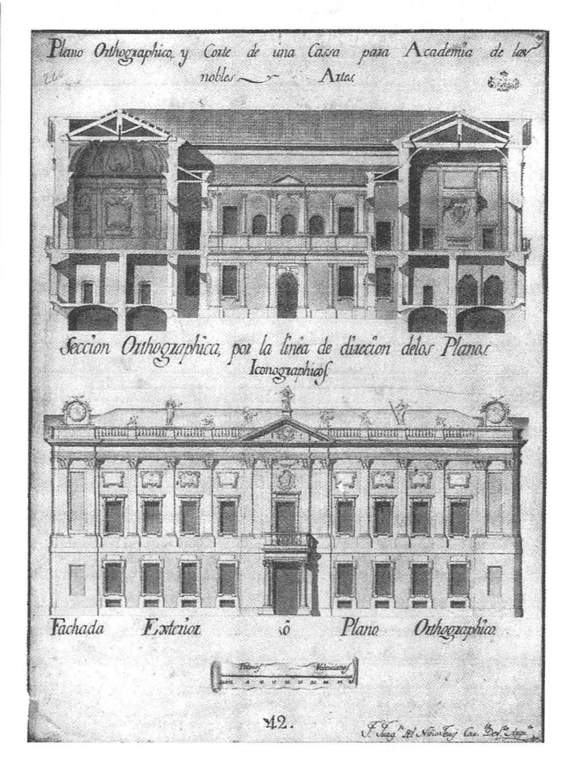


Figura 8
Cassa de Academia de las nobles artes. Sección transversal y fachada principal (Bérchez y Corell 1981)

Tabla 1
Relación de obras y proyectos del Fraile Joaquín del Niño Jesús (González Lozano 2005)

Proyecto/obra	Año	Localización
Intervención en Capilla de la virgen del Pilar		Zaragoza
Intervención en Iglesia de del Carmen		Zaragoza
Plano del camino de Zaragoza a Tortosa.	1782	proyecto
Plano de la iglesia del Desierto de las Palmas	1784–1785	Benicassim
Proyecto. Hospicio	1785	
Proyecto Arco Triunfal	1786	
Iglesia de La Inmaculada	1788	Linares de Mora (Teruel)
Hospital de Castellón de la Plana	h 1788	Castellón
Casa de la Villa y prisión en Castellón de la Plana	1788	
Casa de Academia de las Nobles Artes	1789	(ejercicio de proyecto)
Iglesia del Desierto de Las Palmas	1791	Benicassim
Proyecto del palacio Episcopal de Castellón	1793–1795	Castellón
Construcción de la iglesia de El Frasno	1798	Zaragoza
Dos proyectos para el Hospicio y Casa de Exposiciones.	1798	Calatayud
Reconstrucción de puente sobre el Río Mijares	1801	Teruel
Elaboración de cuatro proyectos de escuelas públicas	1801	Borja, Aragón
Informe y elaboración de planos para reparación de puentes y caminos	1805	Huesca
Proyecto de limpieza y reparación de fuentes públicas	1805	Huesca
Reconstrucción y ampliación de la iglesia parroquial	1807	Ayerbe, Huesca
Informe y obras en el Pantano de Arguis	1807	Arguis, Huesca
GUERRA DEL FRANCÉS. 1808–1812		
Rehabilitación del Convento Carmelita de San José	1819–1825	Zaragoza
Inspección y obras en el pantano de Huesca	h. 1830	Huesca

ra antes de romperse. Para ello, explica el siguiente ejercicio, en un madero de largo $a = 12$ p; alto $b = 7$ p'; y ancho $c = 5$ p', de allí plantea la fórmula siguiente: $b \times c = d$, $d \times b = g$ (g/a), siendo d el área de la sección del madero y g la relación del área con la altura, que luego se dividirá entre el largo de la pieza de madera. Queda así expuesta, $5 \times 7 = 35$; $357 = 245$; $245/12 = 20{,}41666$. Luego, plantea la siguiente «regla general» $1 : 900 : g/a : x$.

Esto se traduce en, $x : (900 \times 20{,}41666) / 1 = 18.375$ ū. Este resultado será la carga máxima que soportará el madero antes de romperse, pero por lo dicho en la cita anterior, dependiendo del uso que se le dará, su carga se reducirá en 1/3 o en 2/3, esto es, 6.125 ū o 12.250 ū.

Seguidamente realiza una descripción de los materiales reconstrucción en fábrica, estos son, el ladrillo, la piedra, el yeso, la cal, la arena y su mezcla.

La tercera parte del manuscrito comienza destacando la importancia que tiene la experiencia constructiva, pero sobre todo el conocimiento de la geometría, aspecto esencial para realizar lo que denomina el planteo del edificio. Seguidamente hace referencia a los tipos de terrenos existentes y las diferentes excavaciones que han de realizarse en una obra, para luego explicar los «fundamentos» de la obra, que no es más que las fundaciones. De esto dice que es de las partes más importantes para la estática del edificio.

> La solidez de estos no depende de la profundidad de los cimientos, sino de la base firme y solida capaz de recibir en si toda la carga del edificio; es parte esencial que se hagan escarpados por principio general de estatica; el grueso de ellos será 1/10 del de la pared por cada lado, o algo mas, en los angulos salientes se les dará un poco mas (Fray Joaquín del Niño Jesús 1812).

Luego explica los diferentes tipos de fundaciones dependiendo del tipo de terreno. Sobre terreno bueno será suficiente abrir zanjas de 3 a 4 palmos de profundidad para los cimientos, mientras que para terrenos malos propone realizar unas fosas luego se macizan para construir sorbe ellos arcos apuntados donde descansará el piso. Igualmente habla sobre otros tipos de suelo; arcilloso, arenoso, en pendiente, entre otros.

Después de hacer una descripción de los principales materiales que se utilizan en las obras de fábricas, y hacer una descripción de los diferentes terrenos, se da paso al tema concreto de la obra arquitectónica. De manera sistemática; el Fraile plantea su descripción siguiendo el proceso constructivo, comenzando con las fundaciones, luego continua con las paredes o muros, arcos y bóvedas; puertas y ventanas; cubiertas y tejados; enlucido de fachadas. Posteriormente hace énfasis en la distribución interna de los edificios y finaliza este apartado hablando sobre las entradas y escaleras.

Sobre las paredes o muros

El Fraile describe los tipos de paredes en la obra de fábrica. Sonde dos tipos, de piedra con argamasa para las juntas, y de ladrillo con yeso o argamasa. La de mampostería se puede hacer de dos maneras; a). «Mampostería arreglada», se hace de piedras bien cortadas; de igual altura; se dejan unas juntas entre piedras que se rellenan con pequeñas piedras y argamasa. b). «Mampostería ordinaria», se realiza con piedras de diversos tamaños teniendo sumo cuidado en dejar piedras sobresaliendo en las juntas a fin de permitir el enlace entre cada una. Se debe compactar para mantener nivelada cada hilada. Igualmente se debe macizar con argamasa por el interior. Es importante que en cada hilada se le administre agua a fin de que el fraguado de la argamasa se realice de manera óptima. Con respecto al armado del muro, afirma lo siguiente:

> Y aquella es de cantería aunque hay de 3 especies solo se usa por mejor la de lazo, ó ligadura doble ésta se trabaja poniendo una de punta al grueso de pared que se llama tizon, contigua â ésta otra de frente que se llama soga, luego otra de tizon en el medio de la soga baja, y la soga alta en el medio del tizon bajo, luego su interior se rellena de piedra menuda y argamasa mojandola hilada es mas se ha dicho: Adviertote que la mamposteria será mejor de piedra mediana que grande por la mucha union y juntas de la argamasa» (Fray Joaquín del Niño Jesús 1812) (fig. 9).

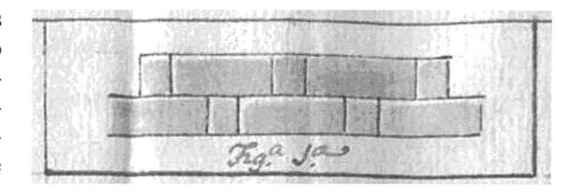


Figura 9
Detalle del aparejo de mampostería (Fray Joaquín del Niño Jesús 1812)

Las paredes de ladrillo con argamasa se deben construir poniendo el ladrillo seco sobre una capa de argamasa previamente colocada sobre los cimientos bien humedecidos. El ladrillo se adhiere a la mezcla, «absorbe el agua y con ella las particulas de la cal, y con ello forma una bella union, ó casamiento» (Fray Joaquín del Niño Jesús 1812).

Cuando se utiliza yeso para el pegado de los ladrillos, estos se deben remojar para que la adhesión se realice adecuadamente. Con respecto al aparejo del ladrillo dice, «en el sentar el ladrillo se obserbará . . . de que resulta un adagio que dize el asiento castellano uno de punta, y otro de llano» (Fray Joaquín del Niño Jesús. 1812).

Con respecto al espesor de las paredes, el Fraile diseñó una tabla que relacionaba el tipo de material de la pared con el grosor en función de la altura en pisos (tabla 2).

Sobre los arcos

Hace referencia a los tipos de arcos, esto son: «adintelado, escanzano (escarzano), rebajado, medio punto y apuntado». En la figura 10, se destacan con los números 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente.

Sobre la función de los arcos afirma que,

> estos se hazen con el fin de poder continuar sobre ellas las paredes, ô los pisos, y dejan huecos para dar paso ó extensión en los edificios; todos se trabajan de una manera pero se diferencian en la curba; se trabajan de canteria, y de ladrillo si se hazen de este, no hay mas que

Tabla 2
Espesores de muros en función del material y la altura del edificio (Fray Joaquín del Niño Jesús 1812)

De ladrillo y yeso		piso	De mampostería	
Alto de 9 ã 12 pies	Alto de 12 ã 16 pies		Alto de 9 ã 12 pies	Alto de 12 ã 16 pies
2 pies-------2 pu	2 pies-------3 pul	1°	2 pies-------3 pul	2 pies-------6 pul
2p----------3p'	2p----------5p'	2°	2p----------7p'	2p----------10p'
2p----------6p'	3p----------0p'	3°	3p----------0p'	3p----------4p'
3p----------0p'	3p----------6p'	4°	3p----------6p'	4p----------0p'
3p----------6p'	4p----------0p'	5°	4p----------0p'	5p----------0p'

puesto el cordel, ó regla coincidan, ó coinciden todas las hiladas (que deben ser nones) con el, por cuanto sale del centro de la curba paraque formen ésta se hazen unas cindrias que la tienen, y sobre ellas se carga; si son de poca consideración se hazen unas paranzas de ladrillo, y si en tierra firme se haze de la misma con un cenchon. Si son de canteria se delínean en un llano y se haze el reparto en numero impar como 3, 5, 7, 9 o mas las que se llaman dobelas excepto las primeras de cada lado que se llaman almidones y la del centro, ó medio, clave (Fray Joaquín del Niño Jesús 1812).

Figura 10
Diseño de apoyo y tipos de arco (Fraile Joaquín del Niño Jesús 1812)

Con respecto a la transmisión de la carga desde el arco hasta los cimientos, afirma que es preciso contar con un muro de cierto espesor para contrarrestar el empuje. El Fraile describe dos maneras de obtención del espesor idóneo de los apoyos del arco;

1ª. Es delineado el arco sobre una horizontal, repartir su curba en 3 partes, y del punto imediato ala horizontal tirar una linea larga que pase de este al arranque de la curba en la horizontal, echo esto tomese la distancia de este al punto de que se tiro la linea y coloquese del de la horizontal en bajo, y en el punto en que yene a esta elebese una perpendicular y paralela al claro la que denotara el espesor que debe tener el poste para contrarrestar el arco. A 2°. Que es mas fuerte, delineese la curba sobre la horizontal que sea larga, y con la mitad del claro de la curba hagase de esta, por fuera una quarta de circulo cuyo punto centrico es el arranque de la curba, echo esto para saber el espesor tirese del centro superior de la curba una linea que pase por su arranque, y corte la cuarta del circulo, y de aquel punto en que la corta elebese una perpendicular y esta demuestra el espesor del punto de apoyo de la tal curba (Fray Joaquín del Niño Jesús 1812).

Sobre las bóvedas

Así como los arcos, destaca cinco tipos de bóvedas, estas son: a). de cañón seguido, b) de arista, c) esquilifada, (esquifada), d) baida, y e) media naranja.

El Fraile enfatiza que el uso de las bóvedas como cerramiento horizontal es muy adecuado. Pueden ser de piedra, de ladrillo y tabicadas. Con respecto al

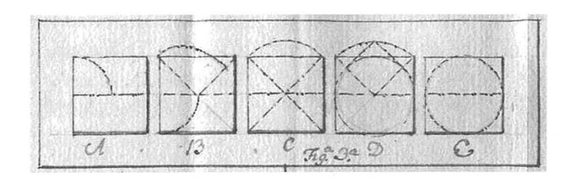


Figura 11
Tipos de bóvedas (Fraile Joaquín del Niño Jesús 1812)

grosor de las paredes que reciben a las bóvedas dice lo siguiente,

> Los gruesos que necesitan las paredes para contrarrestar a sus esfuerzos deben ser proporcionales al expesor de ellas veanse si es de canteria sin estribos se les dará 4ª parte del diámetro de la pieza y si los lleba la 6° y a estos la 4ª. Si es de rosca de ladrillo sin estribos un poco menos de la 4ª y con estribos la 7 y aestos la 4ª si son tabicada sin estribos la 9ª y con ellos la 8 y a estos la 4ª (Fray Joaquín del Niño Jesús. 1812).

Sobre las cubiertas o tejados

El Fraile insiste que las cubiertas de los edificios es una de las partes más importantes de la construcción. Él cita un antiguo adagio que reza, «que el que no acude a la gotera acude a la casa entera». Por esto, le enfatizó a su hermano que debe tener presente: 1. la vertiente y 2. su construcción. Sobre la vertiente puntualiza que es muy usual construir tejados con una vertiente 1/3 de la luz a cubrir en el caso de ser de un agua; y si es de dos aguas la vertiente es de 1/6 la luz a cubrir. Al respecto, insiste que no son las opciones más adecuadas ya que las cubiertas quedan muy planas por lo que toda la estructura recibe mucha carga. En torno a este problema precisado por el Fraile, dice lo siguiente,

> El estilo que yo tengo, y te digo es que se tome el 1/3 y la 1/2 y de la suma de ambas se saque una media proporcional. Esto 12 el claro, su 1/3 es 4, su mitad 6 sumados son 10 la mitad 5 altura que se debe obserbar en los paraje donde nieba, y donde no, se puede rebajar un poco (Fray Joaquín del Niño Jesús 1812).

La estructura de la cubierta es de madera; son cerchas que se colocan de forma paralela y sobre ellas se clavan tablas, pero si la madera escasea, se eliminan las tablas y se colocan listones de madera (correas), separadas lo suficiente para colocar un ladrillo delgado entre cada listón; por último se coloca una capa de yeso blando que servirá de capa impermeabilizante. De esta última forma, dice el Fraile, que es la mejor opción ya que la cubierta queda suficientemente estanca. Sobre la construcción de los tejados dice que se pueden realizar de tres maneras,

> 1ª sobre la cubierta una capa de barro sobre la canal que se asegura con cascos y sobre esta, y estos la cubierta se husa así en Aragon. 2ª sobre la cubierta un poco de mortero delgado en las bocas de la canal lo demas en seco, se aseguran con cascos, sobre estos un lomo de argamasa, y sobre esta la cubierta mojada al tiempo de ponerla y por fin se pulen todas sus juntas, es muy buen estilo, se husa en el reino de Valencia porque no yela, lo probé en Aragon mas luego el yelo lo lebanto todo. 3° listones de 4 dedos anchos y 3 de altos puestos sobre el enmaderado â escalerilla, ó paralelo a la frente y entre úno y otro la canal sujeta con mezcla de cal y polbo de ladrillo y sobre las dos canales y liston la cubierta sentada sobre su lomo de cal es buen estilo se usa en Cataluña (Fray Joaquín del Niño Jesús 1812).

Una vez explicado todo el proceso de construcción, desde los cimientos hasta la cubierta, el Fraile trata el tema de la distribución de los edificios. Sobre esto, subraya 10 aspectos o «reglas» que se citan a continuación,

> 1ª. Todo edificio debe corresponder en todo, y en parte al uso, a que se destina, o al fin parque se erige.

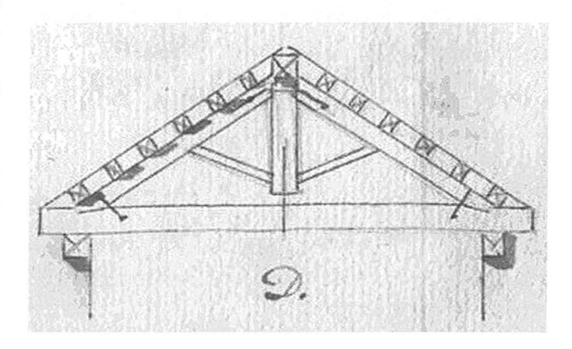


Figura 12
Estructura de cubierta a «escalerilla» (Fray Joaquín del Niño Jesús 1812)

2ª. En qualquier edificio debe berse la unidad de suerte que en el, el todo y la parte manifieste lo que es, y para quienes.
3ª. La comodidad jamas debe separarse de la belleza, y solidez.
4ª. La distribucion interna, y externa deben ser proporcionadas, y relatibas al carácter del edificio, esto es el grande como grande, mediano como mediano, y el pequeño como â tal excepto en las casas de comodidad, hospicios.
5ª. La distribucion interna debe acordar con la externa, y lo mismo ésta con aquella.
6ª. La necesidad, comodidad, combeniencia, y placer, requieren que en una misma abitacion las partes sean barias en la grandeza, figura, y numero.
7ª. En todo edificio las partes mas bentajosas, nobles, bellas deben colocarse e sitios mas expuestos a la vista.
8ª. Todo edificio debe presentarse bien, tener una entrada bentajosa; y contener progresion creciente de partes siempre magnificas y elegantes.
9ª. Las partes salientes de un edificio no deben salir mucho a fuera porno quitar la luz, y vista â las entrantes.
10. todo edificio debe estar bien iluminado en el todo y en sus partes (Fray Joaquín del Niño Jesús 1812).

Al final afirma que estas reglas deben ser universales y por tanto han de cumplirse en todo país y en todo momento, pero, a su vez, aclara que las mismas tienen que supeditarse a situaciones particulares de cada momento y lugar, esto es, el clima, las costumbres, los usos, entre otras cosas.

Propuesta para la elaboración de un tratado de arquitectura

Como se dijo anteriormente, el fraile Joaquín del Niño Jesús plasmó esta idea en un artículo publicado el 7 de julio de 1818, en el Diario de Zaragoza, el cual, en su introducción destaca la necesidad que existe en el campo de la enseñanza de la arquitectura, de contar con un texto adecuado; «completo», para tal fin.

A continuación, se presenta el cuerpo del proyecto, el cual, en su primera parte, trata aspectos conceptuales y otros ámbitos relacionados con temas generales de la arquitectura.

Plano de la obra

Se dará principio a ella por una introducción a la Arquitectura con su definición extensa.

Se tratará de los varios caracteres o aspectos de los edificios, como son el majestuoso, el serio, el magnífico, el terrible, el grandioso y el maravilloso.

Un conocimiento perfecto de los cinco materiales de que se hará uso en los edificios.

Se tratará de las tres partes de que consta la Arquitectura que son solidez, comodidad y belleza, explicando en cada una de ellas la parte del edificio en que tiene cabida, y juntamente se dará razón del por qué no deben anteponerse.

Se tratará de los cinco géneros de edificios de los antiguos y la aplicación de ellos a los modernos.

Se hará lo mismo de las cinco órdenes, del uso que debe hacerse de ellas en los edificios, aplicadas al carácter del asunto, o sugeto a quien se erige, tanto en los sagrados, como en los públicos y particulares. (Fray Joaquín del Niño Jesús 1818).

Esta primera parte se puede catalogar como la fase teórica; donde se imparten los conceptos necesarios para iniciar los estudios de arquitectura. Seguidamente, se plantea una discriminación de los edificios, de carácter subjetivo. Luego, se inicia el estudio de los materiales de obra de fábrica. Después de esto, plantea la segunda parte, o fase práctica, que se cita a continuación,

Se presentarán cuatro egemplares de casas en que se demuestre la bella distribución y arreglo de sus partes, dando razón de ellas sin que nada les falte, y son: Primera: Esta de corta extensión para un labrador o artesano. Segunda: Para un letrado o comerciante con distinción de ello. Tercera: Para un caballero o título. Y cuarta: Para un hacendado en el campo con su casino separado.

En seguida a esto se hablará sobre las tres especies de templos, como son conventual, parroquial y colegiata o catedral, poniendo todas las oficinas necesarias a su servicio.

Se hablará y demostrará el pormenor de los edificios públicos de una Ciudad por el orden siguiente: Una casa Consistorial, Palacio Arquiepiscopal, Palacio del General, Audiencia, Academia, Aduana, Cárcel, Hospital, Lazareto y Hospicio, Coliseo, Biblioteca, Universidad, Seminario Conciliar, y con separación Sacerdotal, Matacía de ganado lanar, y con separación de cerda, y por fin un Cementerio. Tratando en cada uno de ellos de su disposición, habitación y aspecto, y juntamente de los acasos que pueden ocurrir en el tiempo de su ejecución, desde que se empieza hasta finarlo. (Fray Joaquín del Niño Jesús 1818).

Por último, el Fraile propone estudiar algunas obras civiles relacionadas con la hidráulica y conclu-

ye con este párrafo, donde describe los anexos gráficos del tratado. Todos los edificios propuestos se presentarán en planta, perfil y sección de tamaño del papel ordinario para evitar el reducirlos en la impresión cuya obra será el folio, además de esto les acompañará su detalle y avance, y por fin un diccionario bastante extenso de los términos del arte, y leyes relativas.

Conclusiones

El estudio de la vida del fraile Carmelita descalzo Joaquín del Niño Jesús y su obra escrita en torno a la arquitectura y la construcción es, sin duda, un aporte al conocimiento de la construcción histórica, no sólo por su legado escrito y construido, que no fue poco, sino también por el hecho de ser prácticamente un «desconocido» incluso, dentro del ámbito de la Congregación mendicante donde el «protagonismo arquitectónico» recala en otros grandes tracistas de la orden, tales como, fray Andrés de la Madre de Dios o fray Josep de la Concepció, por ejemplo.

Pero, otra cosa que los diferencia, es que estos frailes no dejaron constancia «escrita» de su quehacer arquitectónico mientras que Joaquín del Niño Jesús, ya en una época temprana de su carrera, demostraba un interés por dejar constancia de lo que hacía y como lo hacía con el fin de que otros interesados en el oficio contasen con una guía producto del quehacer diario; de la práctica.

Esta vocación pedagógica se afianza en el texto que recopila sus memorias, el cual presenta un esquema similar al manual de albañilería y donde destaca los distintos autores consultados y referencia a cada uno de ellos en los apartados sobre arquitectura y construcción, logrando con esto tener a la mano la información de cada aspecto pero visto por los diferentes tratadistas que marcaban la pauta en la época.

Esta necesidad de escribir para enseñar llega a su máxima expresión con la propuesta para un tratado de arquitectura, donde el fraile no solamente deja por sentado como debe ser encaminada la enseñanza de la arquitectura y cuales son los conocimientos que necesitan saber los estudiantes. También puntualiza que esta necesidad de reestructuración académica surge a partir de dos puntos negativos, que son: 1. la ausencia de un texto «capaz» de aglutinar los conocimientos *teóricos y prácticos* del quehacer arquitectónico; 2. la escasez de conocimientos por parte de los alumnos debido a la carencia de libros y/o por negligencia académica.

Notas

1. Stereometria: es la ciencia que trata de hallar la solidez de los cuerpos . . . por solidez se entiende el producto de un cuerpo que tiene longitud, latitud y profundidad multiplicadas unas por otras. Longimetria: nos enseña a medir distancias por medio de instrumentos . . . Altimetria: nos enseña los medios faciles de saber la elebacion de los cuerpos . . . Nibelacion: esta ciencia nos enseña a hallar el exceso de un punto a otro por medio del nibel y 2 reglas, o chaloncos. Metamorphose: es la ciencia que nos enseña a mudar una figura en otra que contenga la misma extension . . . combertir un triangulo en paralelogramo. (Fray Joaquín del Niño Jesús 1812).
2. P es la unidad de medida: pies. Un pie es igual a 12 pulgadas. P' es la unidad de medida: pulgadas. û es la unidad de peso: libras. En los «Paisos Catalans», territorio que abarca Cataluña, Baleares y el País Valenciano, la «lliura» tiene diversos valores. En Cataluña, 26 ū es igual a 1@ (arroba), que es equivalente a 10,400 kg (Aslina, Feliu y Marquet 1996).

Lista de referencias

Aldea Hernández, Ángela. 1998. «Aportaciones documentales del convento castellonense del Desierto de Las Palmas». En *Boletín de la Sociedad Castellonense de Cultura* Tomo LXXIV, Cuad. III.

Alsina, Claudi; Feliu, Gaspar y Marquet, Lluís. 1996. *Diccionari de mesures catalanes*. Manuals Curial.

Bérchez, Joaquín y Corell, Vicente. 1981. *Catálogo de Diseños de Arquitectura de la Real Academia de BB. AA. de San Carlos (1768–1846)*. Colegio oficial de arquitectos de Valencia y Murcia-Xarait Ediciones.

Expósito Sebastián, Manuel. 1986. «Fray Joaquín del Niño Jesús: su propuesta para elaborar un tratado de Arquitectura (1818)». En *Revista Artigrama* 3: 267–283.

González Lozano, Víctor. 2005. *Dos modernos de la época neoclásica europea. Carlo Lodoli y Joaquín del Niño Jesús*. Proyecto de Investigación tutelado. Universidad Politécnica de Cataluña. Monografía no publicada.

Joaquín del Niño Jesús, Fraile. 1812. *Principios de Albañilería o Manual de Aprendizajes, dispuesto para su hermano. Por Fr. Joaquin del Niño Jesús Carmelita Descalzo. Profesor de Arquitectura. Maestro Mayor de las Rs*

Obs.r Fortifn por el Rey N.S.v las Plazas de Tarragona, y Zaragoza. Villafames.

Joaquín del Niño Jesús, Fraile. 1818. s/t. En *Diario de Zaragoza* 195: 769–791.

Joaquín del Niño Jesús, Fraile. s/f. *Colección de varias memorias. Escritas para su uso por Fr Joaquin del Niño Jesús Carmelita Descalzo Arquitecto. Capitan, y Maestro Mayor de las Rs Obs.r Fortifn Tarragona, y Zaragoza por S.M. trabajadas en barios tiempos.*

León Santiago, José. 2003. *Hno. Fray Joaquín del Niño Jesús (Fando Sierra). Ocd. El Arquitecto del Desierto de las Palmas*. Monografía no publicada.

El caso de los de arbotantes de la cabecera de la iglesia gótica de Castelló d'Empuries (la llamada «catedral del Ampurdán»)

José Luis González Moreno-Navarro

La presente ponencia aporta las conclusiones sobre lo indicado en el título, teniendo como base las investigaciones encargadas por la Generalitat de Catalunya.

La iglesia tiene una cabecera (ábside y dos crujías) con un diseño típico del gótico francés, con arbotantes y contrafuertes, a la que sigue un cuerpo de tres naves que responde al modelo del gótico catalán. (fig. 1)

El encargo de la investigación surge como consecuencia de la voluntad del Obispado de Gerona de restituir la imagen original de la cabecera, alterada totalmente en la actualidad por los muros de ladrillo que se construyeron cegando el espacio entre arbotantes durante los años '60 del pasado siglo. La razón de esa operación de refuerzo fue la sospecha de que el equilibrio del conjunto se encontraba muy amenazado por las deformaciones y roturas parciales de varios de esos elementos.

La investigación realizada se ha orientado a alcanzar la comprensión de los numerosos porqués que se presentan. En primer lugar, la razón de la sospecha de posible colapso, a partir del análisis realizado siguiendo los criterios de Heyman y Huerta[1] del comportamiento estructural antes y después del refuerzo. Y, precisamente, las conclusiones a las que ha llevado (el diseño original ya presentaba defectos importantes) han puesto de manifiesto la necesidad de desarrollar una investigación histórico-documental y tipológica sobre su origen que ha permitido alcanzar una comprensión razonable de todos aquellos porqués.

El caso de los de arbotantes de la cabecera de la iglesia gótica de Castelló d'Empuries

Reseña histórica básica

Según la investigación histórico-documental desarrollada paralelamente,[2] la sección de las dos primeras

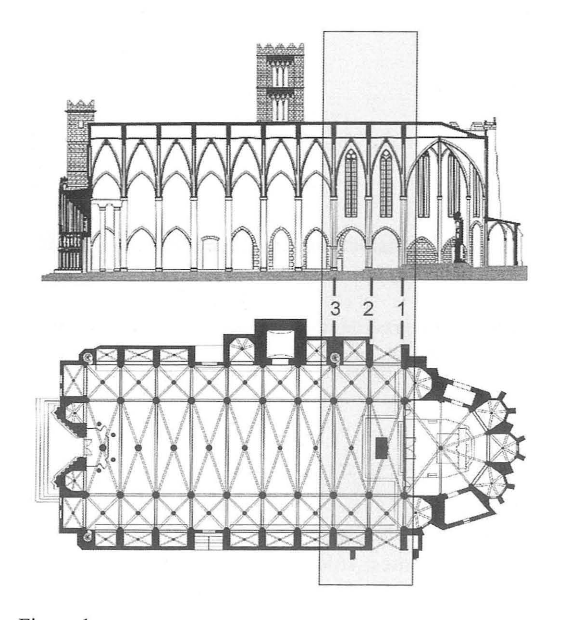


Figura 1
Sección longitudinal y planta en las que se destaca las dos crujías objeto de estudio

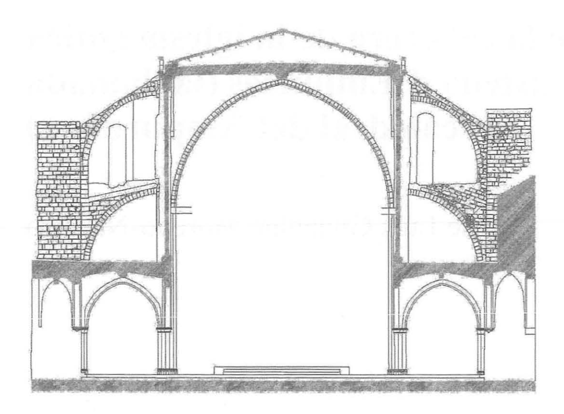


Figura 2
Sección transversal de las dos crujías construidas por el maestro francés

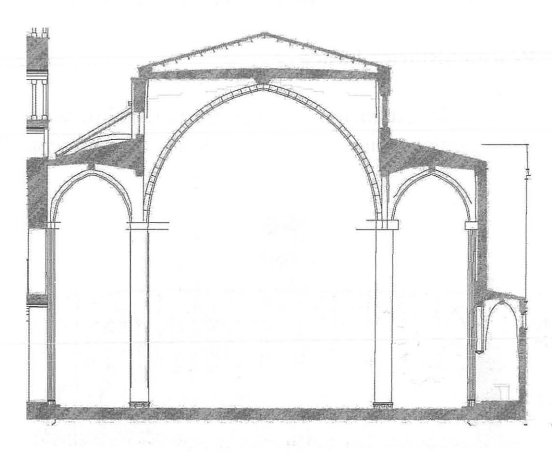


Figura 3
Sección transversal de las crujías con las que se construye definitivamente la iglesia

crujías (fig. 2), la proyectó el maestro de obras francés Raimon de Chartres hacia el año 1261. El ábside sin arbotantes se construyó poco después sin la ayuda de arbotantes, sólo con contrafuertes, según una manera «a la catalana», como la utilizada en la iglesia de Santa Maria dels Turers de Banyoles, quizá iniciada también a finales del siglo XIII, y dirigida parcialmente por el maestro Pere de Torroella de Fluvià que también se ha relacionado con la obra castellonense.

Se atribuye un segundo gran impulso de las obras a partir de 1320–25, en que se extingue la dinastía condal ampurdanesa y en que comienza una nueva con el séptimo hijo de Jaume II, el conde Ramón Berenguer, de manera que se vinculaba ya para siempre el condado de Ampurias con el Casal de Barcelona.

Quizás convenga situar hacia esta fecha el cambio en el alzado (fig. 3) que se advierte, tanto en el interior como en el exterior del edificio: a partir del tercer tramo, las naves laterales se elevan casi a la altura de la central, lo mismo ocurre con los muros de las capillas laterales, a la vez que los arbotantes quedan reducidos a la mínima expresión.

Si se tiene en cuenta la posible cronología del cambio, se advierte que no es gratuita: en este momento ya se habían iniciado las obras de Santa Maria de la Aurora de Manresa y de Santa María del Mar de Barcelona que siguen este mismo tipo de sistema de alzado. También se habían iniciado hacía tiempo las de Barcelona y Gerona.

Descripción de la morfología constructiva y de la estructura portante

El conjunto de la cabecera objeto del presente estudio está formado por dos bóvedas de crucería con las dimensiones propias de toda la iglesia y de las bóvedas que forman el ábside con un esquema general muy común en el gótico, arcos torales y diagonales. Los arcos formeros se sitúan sobre el claristorio. Por lo que se ha podido saber inspeccionando desde el trasdós, los senos, tanto de las bóvedas, como de los arcos torales, están rellenos de obra de fábrica, de la que no se ha podido conocer a fondo su constitución.

Las bóvedas del ábside se apoyan en contrafuertes y en los dos primeros arcos torales en una doble batería de arbotantes. En la batería de arbotantes número 3 se da la superposición de los dos esquemas estructurales de la iglesia, de manera que en ellos podemos observar la presencia de y también la sección del arco de las naves laterales y de sus arbotantes, siguiendo el esquema del resto de la nave.

Las fábricas que llenan el espacio entre los dos arbotantes de las cuatro baterías, objeto del estudio, (fig. 4) presentan algunas diferencias aunque en los cuatro casos están hechas, o de piedra de mampostería o de

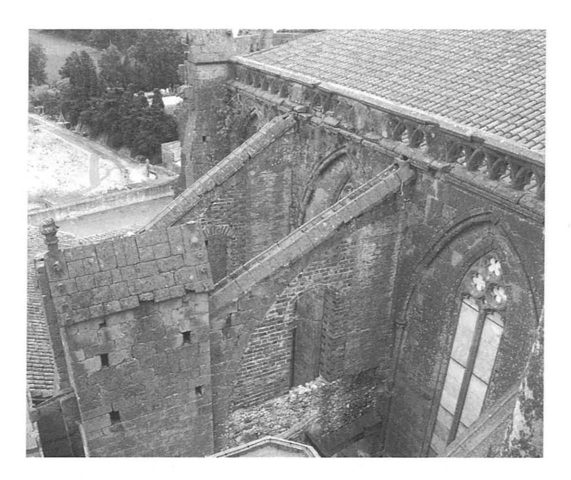


Figura 4
En primer término, la segunda batería de arbotantes del lado norte. Se puede observar el relleno de mampostería y fábricas de ladrillo macizo y doble hueco. Las dos primera son del siglo XIX, la tercera del XX. Al fondo, el primer contrafuerte del ábside

ladrillo doble hueco moderno. Todos los indicios y los documentos indican que, en el caso de la mampostería nos encontramos con los restos de una construcción añadida en el siglo XIX en cuyos arbotantes quedan los muros que daban apoyo a unas vigas que constituían la cubierta del conjunto. Los ladrillos modernos fueron colocados en las restauraciones hechas en los años 60.

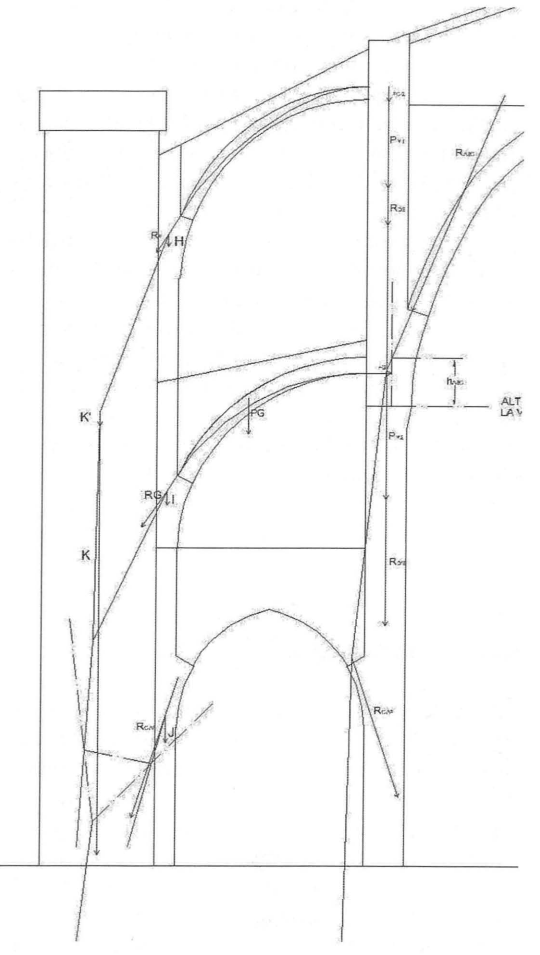


Figura 5
Posible distribución de esfuerzos y las líneas de presión de la solución original que no consigue el equilibrio

Análisis estructural de la solución original

Primera aproximación

En la figura 5 se representa el esquema de distribución de esfuerzos y las líneas de presión. En relación con el arbotante superior, si bien de una manera estricta se puede considerar que no produce ningún efecto sobre les bóvedas, dada su situación en una cota ligeramente superior a éstas, se ha considerado conveniente incluirlo partiendo del hecho que la pilastra correspondiente dispone de suficiente rigidez como para absorber el pequeño momento de giro que origina. Es un arbotante en el que todo parece indicar que el único papel que cumple es el de dar soporte a la canal de desagüe de la cubierta. Estos arbotantes superiores en los modelos originales franceses cumplían un papel de apeo de una cubierta muy empinada sometida a la acción del viento, lo que no es ese nuestro caso, ya que todo indica que las pendientes de la cubierta original fueron muy parecidas a las de la actual.

En esta primera aproximación se ha considerado que el efecto del arbotante inferior es el máximo que puede producir como arco, dando un empuje hori-

zontal sobre la pilastra que recoge al arco toral y los dos arcos diagonales. Se puede comprobar, con sorpresa, que la componente horizontal de la resultante R_{ABC} de los empujes del arco toral y de los arcos diagonales es desproporcionadamente grande en relación al pequeño empuje que produce el arbotante, muy parecida a la del arbotante superior. Esto tiene consecuencias importantísimas sobre el comportamiento del conjunto, pues, pese al efecto centrador que tiene la bóveda de la nave lateral, la resultante final cae bien alejada de la base del pilar.

En consecuencia, se puede afirmar, de manera bien taxativa que, si el único elemento actuante hubiera sido el arbotante como tal arco estrictamente, la bóveda de crucería de la nave central se hubiese abierto, desplomándose hacia el exterior el muro entero del claristorio. Obviamente, esta hipótesis no es cierta y, por tanto, es imprescindible buscar otra configuración del comportamiento estructural que permita la estabilidad del conjunto.

Segunda aproximación

La investigación de una composición de fuerzas que explique el equilibrio original del conjunto arbotante-contrafuerte no ha sido fácil. Y esta nueva hipótesis de comportamiento se basa en el otro papel que pueden llegar a desempeñar, si es que pueden, los arbotantes, es decir, el papel de puntales actuando como transmisores de esfuerzos a través de ellos. Y esta es la hipótesis considerada en la figura 6.

Se puede asegurar que si no fuera por la fábrica de sillería del seno situado encima del arco de dovelas, este conjunto no estaría en equilibrio, ya que, como consecuencia de su bajo empuje, no tiene otro remedio que actuar como un puntal que transmite la carga total hacia el contrafuerte.

Esta hipótesis obliga a descomponer la resultante R_{ABC} en dos líneas de acción hipotéticas que puedan contenerse en la masa construida, una en la dirección del arbotante-puntal y la otra hacia la parte inferior del claristorio.

En principio, tal como es comprueba en el dibujo, el empuje sobre el arbotante ha de atravesar también les dovelas del arco y cargar mucho su intradós.

Utilizando cierta metáfora antropomórfica, podemos decir que la pilastra del claristorio, perdiendo el equilibrio, busca un elemento rígido en el que apo-

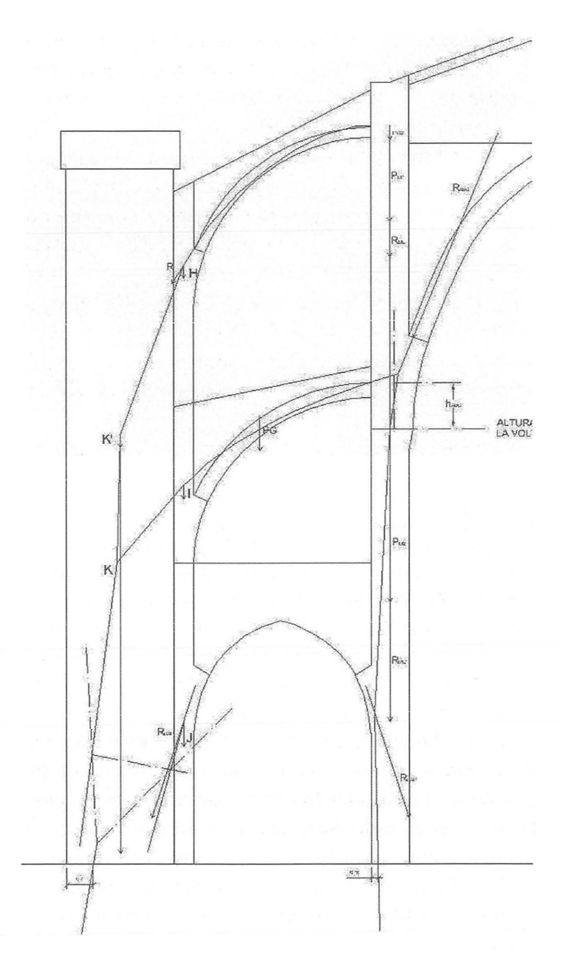


Figura 6
Posible distribución de esfuerzos y las líneas de presión de la solución original que sí consigue el equilibrio

yarse y lo encuentra, no en el arco del arbotante sino en el conjunto formado por el propio arco de dovelas más el conjunto de sillares que llenan sus senos; y, en consecuencia, la carga o el esfuerzo producido por la bóveda de crucería en parte se puede descomponer en dos, uno lo absorbe el arbotante y el otro la propia pilastra.

El valor asignado a este esfuerzo asumible por el arbotante, se ha obtenido obviamente, tanteando cuál es el que puede asumir sin salirse de su masa, cuál es el que puede asumir el propio contrafuerte sin produ-

cir un exceso de excentricidad en la base, y se acaba de comprobar cunado esta descomposición en dos fuerzas genera un equilibrio en la base de la columna, soporte de todo el conjunto.

Y este es el valor que se ha adoptado, de manera que siguiendo los criterios básicos del análisis límite, definidos por Jacques Heyman, hemos conseguido encontrar una solución razonable que genera un estado de equilibrio en todo el conjunto.

Es importante destacar que no se trata de afirmar que es ésta la distribución de esfuerzos que realmente es va a producir en algún momento, sino que, si nosotros la hemos sabido encontrar, el conjunto de la fábrica también la encontrará.

El posible contraste de esta hipótesis de comportamiento la podemos encontrar en algunos de los daños observados en el intradós del arbotante inferior en los cuatro casos como son los efectos muy evidentes de un exceso de compresión que produce fisuras longitudinales y pérdida de material.

Como consecuencia, es muy probable que sea ésta una hipótesis razonable de comportamiento del arbotante inferior, es decir, como un puntal que tiene una línea de presiones que forzosamente, dada su dimensión y la dirección de los esfuerzos provenientes de la bóveda de crucería ha de pasar muy cerca de la parte central del intradós con la consiguiente producción de los daños mencionados.

Análisis estructural de la sección por el ábside

A fin de comparar la solución estructural anterior con otra bien diferente, resulta interesante, pese a que no participe de la problemática global planteada en el estudio, analizar el comportamiento de los contrafuertes en los que se apoyan las bóvedas del ábside. En la figura 7 se puede comprobar que, con un empuje similar al que pueden recibir las secciones transversales vistas anteriormente, el equilibrio se consigue de una manera mucho más sencilla, ya que el empuje de las bóvedas del ábside queda perfectamente desviado de su resultante hacia la base del contrafuerte debido al peso de éste y a una geometría muy favorable y muy sencilla a la vez. Dado que el empuje de las bóvedas del ábside es más bajo, la resultante en la base del contrafuerte queda todavía más centrada.

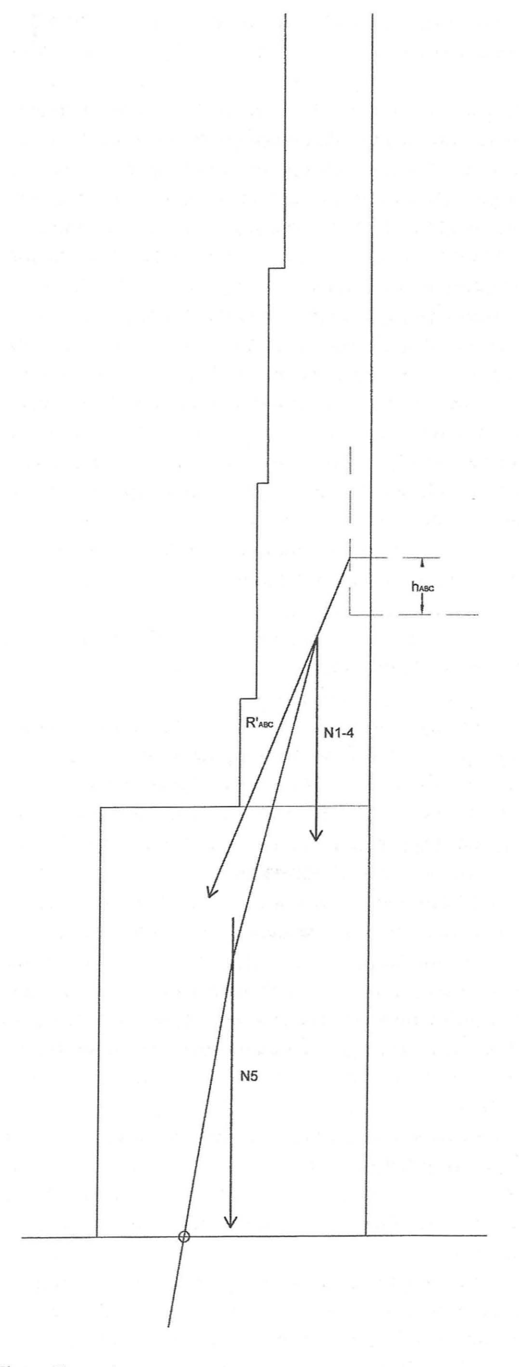


Figura 7
El empuje de las bóvedas del ábside se equilibra de una manera más sencilla mediante unos simples contrafuertes

Conclusión de este primer análisis estructural

La comparación entre la sencilla solución del contrafuerte del ábside y la complejísima de los arbotantes nos muestra que nos hallamos ante una solución de arbotantes, como mínimo sorprendente, ya que está provocando un comportamiento muy exigente respecto del arbotante inferior y muy poco exigente con el arbotante superior.

En una primera aproximación, se puede concluir, como consecuencia y a la vista de todo lo que se ha expuesto anteriormente, que nos hallamos en un caso en el que el diseño original del conjunto de arbotantes y contrafuertes no consigue, de manera homogénea y orgánica, aportar el sistema de equilibrio que se da en otros ejemplos de catedrales góticas de dimensiones mucho mayores.

Se trata de una situación realmente sorprendente de la que hay que concluir que el maestro arquitecto que hizo la primera traza, Raimon de Chartres, no supo adaptar sus conocimientos, procedentes del Norte de Francia, a esta iglesia, mucho más pequeña de las que eran habituales allí.

Pero también la simple visión del conjunto de los arbotante de Castelló d'Empuries produce una cierta sorpresa al tener su forma general muy diferente a lo que estamos acostumbrados a contemplar en las soluciones habituales del gótico, como por ejemplo la ya sección de la Catedral de Mallorca.

Este conjunto de hechos lleva obviamente a la necesidad de establecer una comparación tipológica con los modelos de referencia, tanto de la época que nos ocupa, como algunos posteriores. Lo cual nos permitirá situar definitivamente en su contexto temporal el diseño que estableció el maestro francés.

Comparación tipológica con los antecedentes del gótico francés

Consideraremos dos comparaciones con sendas catedrales francesas bien conocidas, la de Chartres, de estudio obligado, dado el origen del maestro francés de Castelló, y la de Reims.

Es importante destacar que, desde punto de vista de la estabilidad, lo que resulta definitivo es la forma del conjunto sin que la dimensión influya. De manera que lo que hay que hacer es comparar las secciones de los edificios como si las bóvedas tuvieran la misma flecha y comparar sus sistemas de equilibrio.

Comparación con la Catedral de Chartres

La figura 8, con los dos edificios a la misma escala, sirve para observar la característica propia de esta catedral francesa que no es otra que el arbotante doble formado por dos arcos y una arquería intermedia. En la figura 9 ya se ha hacho una transformación de la dimensión de Castelló, aumentándola, a fin de conseguir una bóveda de crucería de la misma dimensión en altura de las dos, situando a la misma cota, desde la parte superior, las impostas de los arcos. La figura 10 supone una transformación de la sección de Chartes con la intención de compararla con la de Castelló. Se ha suprimido el arco superior y la arquería entre los dos arcos del arbotante doble, y también se ha transformado la nave lateral de Chartres reduciendo a la mitad su altura, a fin de que sea perfectamente comparable con la de Castelló.

Los defectos del diseño de Castelló queda bien claros. En primer lugar, la proporción entre la dimensión de la nave central y la de la nave lateral y, como consecuencia, de la luz de los arbotantes, es claramente desfavorable ya que éstos, al tener menor luz,

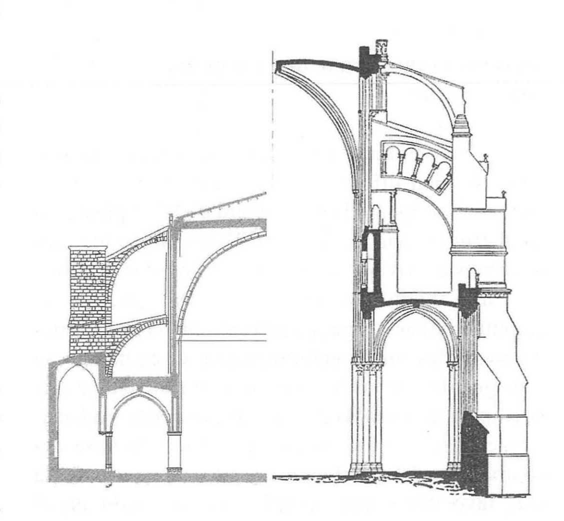


Figura 8
Comparación de los tamaños de la catedral de Castelló con la de Chartres

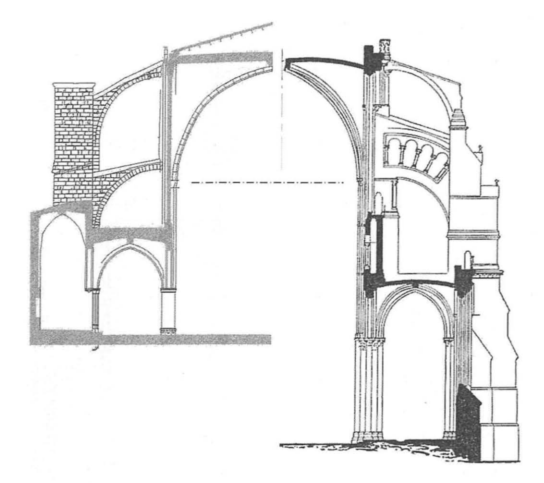


Figura 9
Se ha situado la imposta de Castelló a la altura de la Reims

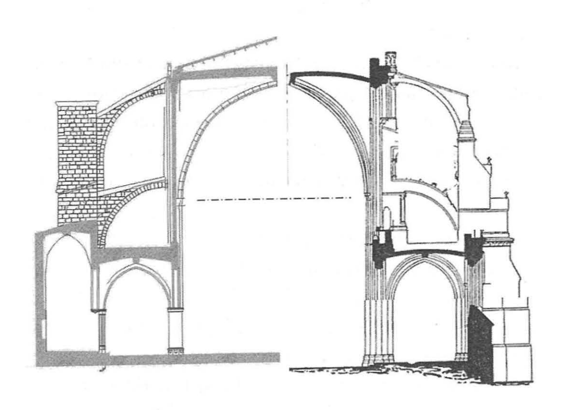


Figura 10
Se ha transformado la de Chartres

pueden dar bastante menos empuje. En segundo lugar, para que el esquema de Castelló funcionara bien el arbotante inferior debería situarse bastante más arriba.

Se puede pensar, por lo tanto, como hipótesis de trabajo, en una transformación hecha por el maestro Raimon de Chartres para adaptar un perfil propio de su ciudad a la nueva ubicación en el Ampurdàn. Pero sin los recursos de allí y sin entender el papel o la importancia de la ubicación exacta de los arbotantes.

Quede bien entendido que, pese que en el dibujo comparativo la luz de los arbotantes es la misma, la luz de la nave es mayor la de Castelló y que al tener la misma altura, el empuje tiene una dirección más inclinada, con lo que son dos variables importantes en contra de Castelló.

Comparación con la Catedral de Reims

En la figura 11 se he ampliado la dimensión de Castelló y se ha situado en el mismo nivel la imposta de las bóvedas, lo cual permite sacar conclusiones sobre el conjunto de sistemas de equilibrio. Además de constatar que el arco toral de Reims es mucho más vertical y, como consecuencia, proporciona cargas menos inclinadas que la de Castelló, se comprueban otras cuestiones de interés en relación con la entrega de los arbotantes y de su anchura y, consecuentemente, de la su importancia relativa en cuanto a sus empujes.

En relación con los arbotantes superiores, siempre se ha dicho que su razón de ser en les catedrales francesas era la de aportar un sistema de estabilidad al conjunto de la cubierta, resuelta, en general, con una pendiente muy acusada, sobre la que los efectos del viento podrían ser importantes, de manera que no tienen ninguna influencia en el equilibrio del conjunto de las masas pétreas.

Si lo comparamos con Castelló vemos el error del maestro francés, pues en Castelló no tienen papel alguno, ni uno ni otro, ya que no hay allí una cubierta inclinada, sino que hay, por lo menos actualmente, una cubierta de teja.

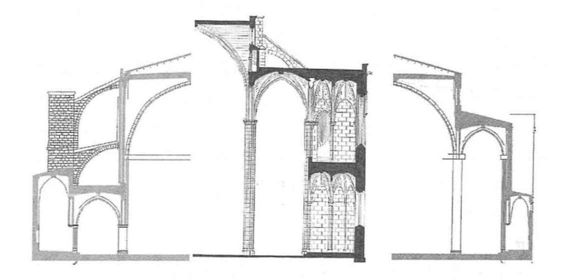


Figura 11
Comparación con Reims. La de Castelló se ha aumentado para facilitar la comparación

También se puede ver que los dos arbotantes de Castelló, pese a tener que estabilizar una bóveda parecida a la de Reims, son mucho más pequeños y, por lo tanto, queda justificada esta constatación hecha por medio de la estática gráfica.

COMPARACIÓN TIPOLÓGICA CON LOS TIPOS PROPIOS DEL GÓTICO DE LA CORONA DE ARAGÓN

Comparación con la Catedral de Barcelona

La comparación de la segunda versión de Castelló, situada a la derecha en la figura 12, con la de Barcelona, refuerza claramente la hipótesis de la influencia de ésta.

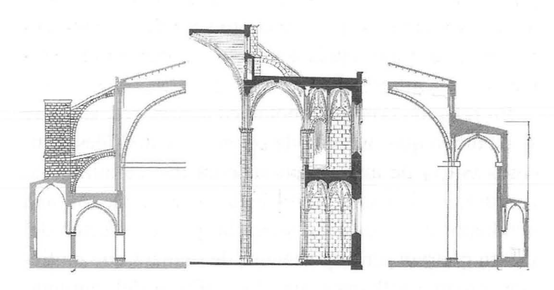


Figura 12
El orden de colocación de las medias secciones todas a la misma escala, es, a la izquierda la primera versión de Castelló, en el centro la de Barcelona y a la derecha la definitiva de Castelló

La adopción del modelo de Barcelona supuso una mejora en el esquema de su estabilidad. El hecho de situar más arriba la bóveda de la nave lateral comporta que la resultante inclinada que proviene de la combinación de la bóveda principal y el arbotante quede desviada hacia el centro de la columna que separa ambas naves, al igual que ocurre en la catedral de Mallorca, tal como se verá a continuación.

Comparación con la Catedral de Mallorca

La figura 13 permite comprobar un hecho objetivo, pero que siempre es sorprendente. Las grandes dimensiones de la Catedral de Mallorca y la relativa dimensión de la de Castellón. Pero no se trata de comparar medidas sino de sistemas de organización del equilibrio de las masas.

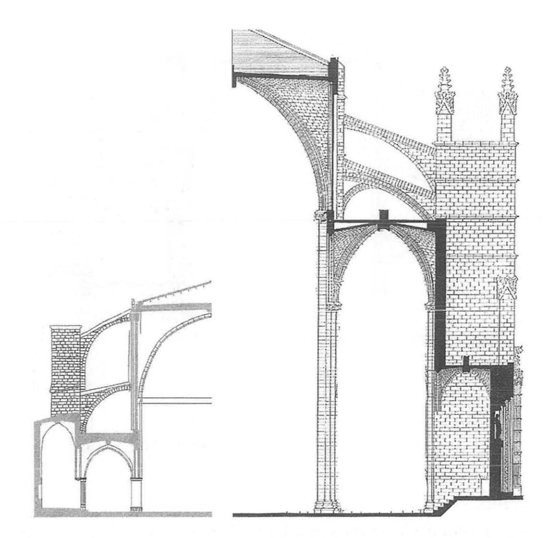


Figura 13
Comparación a igual escala de Castelló con Mallorca

Analizando la figura 14 se detectan cuestiones importantes como las diferencias enormes que hay en relación con la anchura de la nave y el perfil de la bóveda, mucho más rebajado el de Castellón, lo cual de entrada nos dice que, los empujes horizontales serán mayores. Por otro lado, también podemos considerar la diferente situación de los arbotantes y la brutal diferencia que hay entre la altura de las naves laterales.

La figura 15 compara directamente el resultado de las líneas de los empujes, (aprovechando el estudio de Rubió y Bellver) y podemos sacar las siguientes conclusiones.

En Mallorca el efecto de los dos arbotantes, consecuencia de la altura de su entrega con el edificio, está influyendo en el equilibrio en la línea de empujes en su recorrido por el arco toral, cosa que, en absoluto, ocurre en Castellón, ya que el arbotante superior casi no afecta a la bóveda y el arbotante inferior se entrega donde la bóveda ya ha hecho todo su recorrido.

Pero, además, como consecuencia de ser relativamente más estrecha la nave central que el espacio dedicado a los arbotantes, el empuje de éstos sobre la

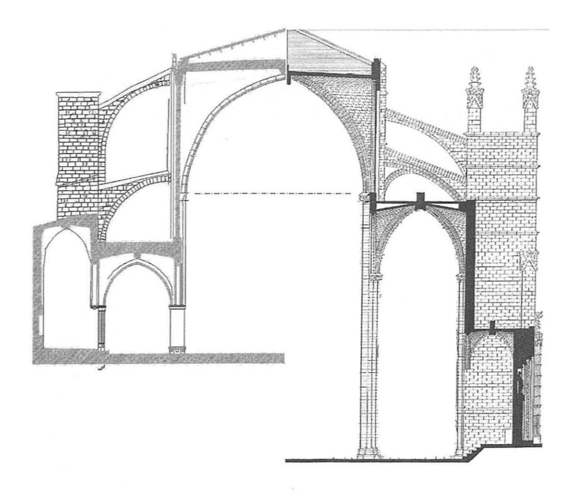


Figura 14
Comparación con igual tamaño de las bóvedas

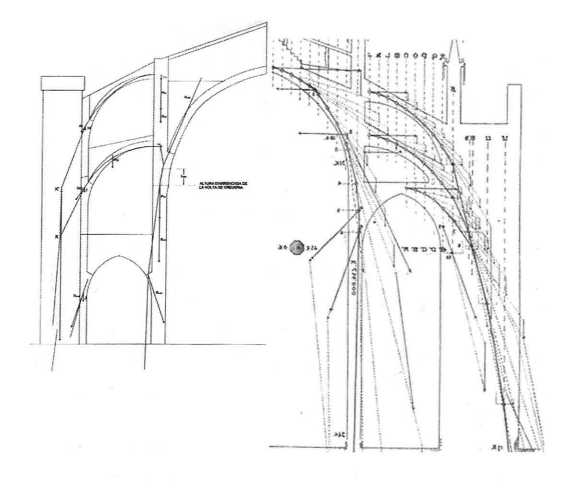


Figura 15
Comparación de las posibles líneas de presiones

línea de presiones es mucho más influyente que en Castellón, ya que al ser mucho más grande la parte dedicada a la nave central, y más estrecha y más delgados los arbotantes, éstos producen un empuje bastante menor en comparación con la propia de Mallorca.

El arbotante inferior de Mallorca está produciendo un empuje sobre el arco toral que consigue desviar la vertical y, además, su resultante sobre el contrafuerte, es bastante más inclinada que la que está produciendo el arbotante inferior de Castellón sobre su contrafuerte.

Esto nos lleva a destacar el papel extraordinariamente sofisticado que, en el diseño gótico, tienen los arbotantes. En su entrega al arco toral consiguen verticalizar en parte la carga, pero en la su entrega al contrafuerte, dada su inclinación mucho más reducida de la parte inferior del arco, están favoreciendo la verticalización del conjunto de cargas del contrafuerte. Ésta es una consideración de tipo general que en Castellón no tiene lugar, pues el efecto del arbotante sobre el contrafuerte es un empuje muy inclinado, lo cual impide que facilite el equilibrio en la base del contrafuerte.

En relación con el efecto de las naves laterales, se puede ver cómo en Mallorca tienen una influencia extraordinaria en el conjunto del equilibrio, mientras que en Castelló prácticamente no tienen ninguno o muy poco al desviar hacia el interior de la nave la resultante sobre el pilar.

También es interesante destacar que Mallorca tiene un contrafuerte más profundo que Castelló.

Conclusiones

Se puede asegurar que la traza de la iglesia de Castelló, si se la compara con sus análogas francesas o, incluso con la de Mallorca, tiene dos defectos fundamentales: el arbotante inferior está situado en una cota muy baja y, además, en relación con la luz de la nave principal, la luz del arbotante, que corresponde a la achura de la nave lateral, no es o bastante grande como para aportar un empuje suficiente. Lo cual no fue impedimento para que la fábrica encontrara otra manera de adquirir estar en equilibrio, tal como se ha podido comprobar, aunque a nuestros ojos, con poco margen de seguridad. La alternativa de adaptarse en 1325 a partir de la tercera crujía a la solución que hemos llamado barcelonesa supuso una solución definitiva desde todos los puntos de vista.

Notas

1. Han sido especialmente útiles las indicaciones ya conocidas de las obras de Heyman y especialmente las dadas

por Santiago Huerta. *Arcos, bóvedas y cúpulas: geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica.* Madrid Instituto Juan de Herrera, 2004.

2. Fumanal, M. A. (Culturània S. C.) y Joel Colomer. *La Capçalera de l'Església de Santa Maria de Castelló d'Empúries. Estudi Históricoartístic.* Freixa, Montse (ATICS S. L.).
3. Se ha utilizado el levantamiento planimétrico efectuado por el equipo dirigido por Fernando Álvarez Porozovich, arquitecto.

La construcción de viviendas en Madrid en el siglo XVII: sistemas constructivos utilizados

Esperanza González Redondo

La extensa transcripción de documentos realizada con objeto de conocer los sistemas constructivos utilizados en la construcción de viviendas en Madrid en los siglos XVII-XIX ha permitido estudiar dichas construcciones. Este recorrido documental desvela datos muy interesantes desde el s. XVII. A pesar de que la mayor parte de los edificios que hoy quedan en Madrid datan de fecha posterior, fundamentalmente de los siglos XVIII y sobre todo XIX, en este trabajo se pretende sacar a la luz cómo la práctica constructiva que muestran los edificios que hoy se conservan, se utilizaba ya en épocas anteriores, esto es, sus marcos de madera estaban perfectamente reglamentados en el s. XVII, en lo que se refiere tanto a sus medidas (tabla, canto y largo) como a sus precios. La escasez de documentos encontrados que datan de esta fecha reflejan aún más la importancia de la información en ellos contenida.

En este trabajo, siguiendo otros que se han realizado previamente y a la luz de las fuentes documentales consultadas en el Archivo Histórico de Protocolos de Madrid (A.H.P) que datan de dicha centuria, s. XVII (1606, 1616, 1626, 1635, 1636, 1649, 1655, 1669 y 1694), se pretende centrar el estudio en los sistemas constructivos utilizados y que quedan reflejados en dichas fuentes escritas, en especial en la trascripción de un contrato de obra de una vivienda cuyas trazas están realizadas por Fray Lorenzo de San Nicolás. La documentación gráfica encontrada en dichos archivos, si bien escasa, refleja el nivel de definición de las trazas esenciales. Los documentos en los que se apoya la investigación son entre otros: trazas de construcción de casas, escritura de obligación para la realización de las obras, inventario y partición de bienes, escritura de división de casas, escritura y contrato de obras, etc; algunos de ellos se muestran en las figuras 1-4 y figura 6.

Fray Lorenzo de San Nicolás, arquitecto (1595-1679)

El cuerpo central de este trabajo se centra en la construcción de una casa en Madrid cuyas trazas fueron realizadas por el arquitecto Fray Lorenzo de S. Nicolás, monje de la orden de S. Agustín Descalzo y arquitecto de dicha orden «Primeramente con condicion que en todo guardara el dicho Francisco de Aspurg la Planta echa por el Padre Fray Laurencio de San Nicolas sin añadir ni quitar si no es que sea de orden del

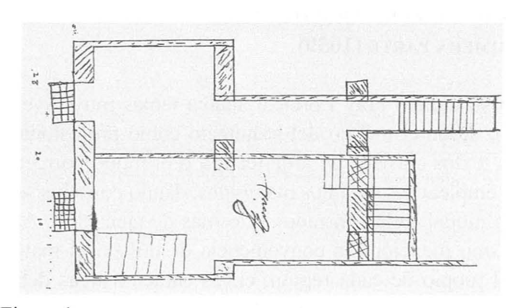


Figura 1
Plano del sótano de una casa en la C/ Carretas de Madrid, 1616 (Archivo Histórico de Protocolos Nº 2734).

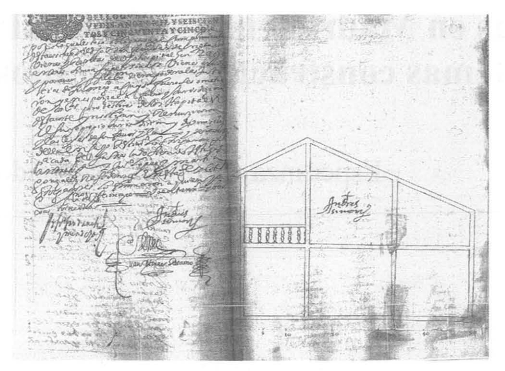


Figura 2
Alzado de la obra de la casa de Convalecencia del Hospital General en la C/ Atocha, 1655 (Archivo Histórico de Protocolos Nº 8.869).

dicho Señor Don Juan Henríquez y si lo contrario hiciere a de ser a su costa sin que por ello aya de haver ninguna paga». El autor relata que en el momento de escribir su tratado había realizado 16 capillas e iglesias, aparte de las que estaban en curso al escribir la 2ª parte del tratado, así como muchas otras trazas que había realizado para la orden. Lo más importante de las obras que proyectó se halla hoy en Madrid: una armadura del tipo de cúpula interior y cuerpo ochavado en el exterior que empleó en la parroquia de San Martín, la iglesia de una sola nave con cúpula en el crucero de las monjas benedictinas de San Plácido y, sin duda, su gran obra: la Iglesia de la Concepción Real de Calatrava en Madrid (1670-78), que es la única parte que subsiste del convento. La iglesia es de una sola nave con gran crucero y monumental cúpula, semiesférica por dentro y ochavada por fuera.

Arte y Uso de Arquitectura. Primera parte (1639)

En su tratado Fray Lorenzo abarca temas muy diversos, desde el trabajo del arquitecto como profesional, los textos clásicos de arquitectura o el modo correcto de emplear los distintos materiales, dando consejos sobre modalidades, trazados y formas de ejecución. Así mismo menciona la conveniencia de utilizar el material propio de cada región, cuyas características debe conocer bien el arquitecto. En su tratado, al igual que en el contrato de obra que se estudia en este trabajo, se ocupa de precios y mediciones, de los que era buen conocedor, pues él mismo había trabajado como tasador. El propósito esencial era difundir unos conocimientos generales sobre el arte de construir a la vez que ayudar a entender la arquitectura de la época.

Fray Lorenzo de S. Nicolás en su tratado *Arte y Uso de Arquitectura. Primera parte* (1639), escrito en fecha anterior al documento aquí tratado, ya menciona numerosas indicaciones a la hora de construir. Más orientado a la construcción de templos, no obstante muchas de sus anotaciones se pueden aplicar a la construcción de viviendas. En concreto, he seleccionado de dicho tratado algunas anotaciones que pueden a ayudar a completar este documento, estas son: a) el cap. XXVIII: Trata de la forma que se ha de tener en plantar un edificio, y de abrir sus çanjas, y del fondo que han de tener; b) el cap. XXIX, Trata del modo que se ha de tener en continuar el edificio, d) el cap. LXXIX, Trata de las medidas que se pueden ofrecer en qualquier edificio, que llamamos medidas de pies derechos y d) el cap. XLVII: Trata de que suerte se ayan de traçar las armaduras y quantas diferencias ay dellas,

Construcción de unas casas en la C/ San Miguel en Madrid (1669)

Este trabajo se apoya en gran parte en la trascripción de la escritura de la obra de las casas de D. Juan Henríquez de Guzmán en la C/ San Miguel que data

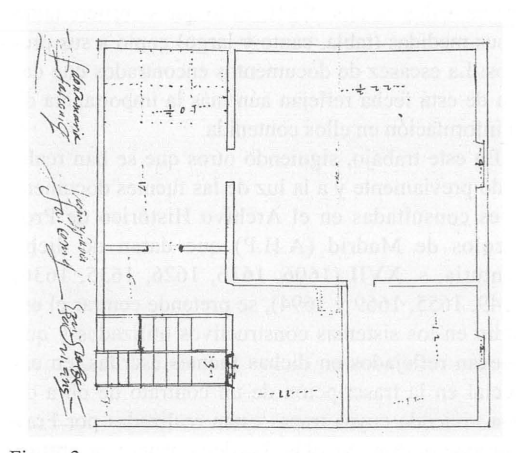


Figura 3
Plano de una celda para el Convento de la Concepción Jerónima de Madrid, 1606 (Archivo Histórico de Protocolos Nº 2.624).

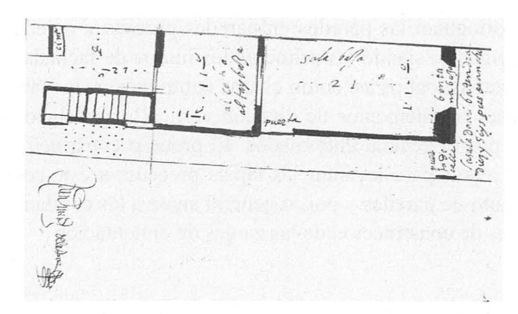


Figura 4
Traza de una casa en el Pórtico de San Martín, 1636 (Archivo Histórico de Protocolos Nº 7.055).

de Mayo de 1669 consultada en el Archivo Histórico de Protocolos de Madrid con Nº 10.849, firmada por el propietario D. Juan Henríquez y el Maestro de obras y Alarife de la Villa de Madrid, D. Francisco de Aspur siguiendo las trazas realizadas por Fray Lorenzo de S. Nicolás. En la primera hoja de este documento (fig. 5) se recogen los precios y condiciones que se han de cumplir en la realización de dicha obra

> En la Villa de Madrid a diez y siete dias del mes de Mayo de mil y seiscientos y sesenta y nueve años ante mi el Sno. escribano y testigos el señor Don Juan Henríquez de Guzman residente en esta corte de una parte y de otra Francisco de Aspuro Maestro de obras y alarife de esta Villa vecino de ella. Dixeron que el dicho señor D. Juan Henríquez tiene como propias suyas unas casas principales en esta Villa en la calle que llaman de San Miguel junto Al Collegio de las niñas del Marques de Leganes que antes fueron de D. Duarte de Acosta de Soto mayor las cuales tiene tratado con el dicho Francisco Aspuro de que las aya de labrar reedificar en la forma y como se contiene en la traça que para ello se a echo por el presente Fray Laurencio de San Nicolas de la orden de San Agustin descalzo y en raçon de la dicha fabrica an ajustado se ayan de guardar y cumplir asi por parte de dichos señores D. Juan Henríquez como por la del dicho Francisco de Aspurg los precios y condiciones siguientes . . . (AHP Nº 10.849)

Se pretende extraer de dicho documento aquellas partes que permitan un mejor entendimiento de los sistemas constructivos utilizados en la construcción de viviendas en Madrid en el S. XVII. Para ello, y dado que el documento objeto de estudio no tiene información gráfica en la que apoyarse, se ha optado por tratar de interpretar la información en él contenida a través de documentos de la misma época, entre ellos hay que mencionar los dibujos contenidos en el propio tratado de Fray Lorenzo de S. Nicolás.

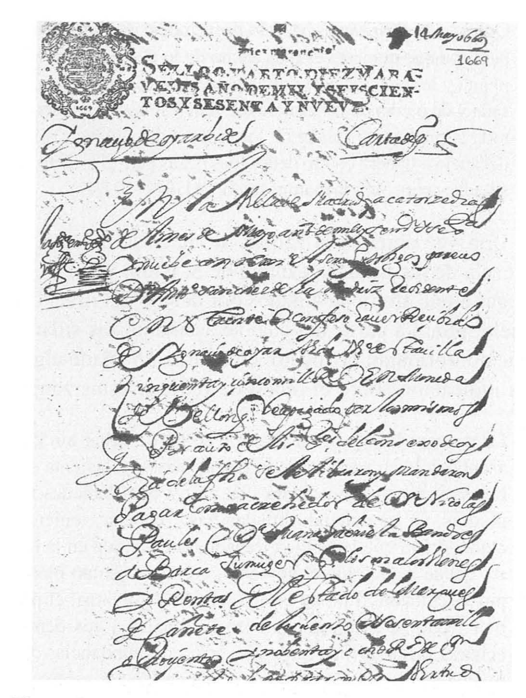


Figura 5
Construcción de una casa en la C/ San Miguel, 1669. Primera hoja del documento (Archivo Histórico de Protocolos de Madrid Nº 10.869).

Trabajos de cimentación

Siguiendo prácticamente el mismo criterio que menciona Fray Lorenzo de S. Nicolás en su tratado, en el que expone que al cimiento se le ha de dar la octava parte de su grueso a cada lado, se deberán realizar los trabajos de vaciado hasta alcanzar el firme añadiendo por cada lado de la zanja corrida medio pie (unos 14 cm) con respecto al ancho o espesor del muro que ha de levantarse. Relativo al fondo que han de tener los cimientos, Fray Lorenzo, se refiere a éstos diciendo que el fondo de la zanja será la tercera parte del ancho si es templo y la cuarta parte si es casa y siempre y cuando se haya alcanzado el firme (de este modo, un cimiento de 3 pies, cubrirá una crujía de unos 12 pies).

> Que se a de abrir zanjas hasta lo firme medio pie mas anchas para rodapie que esto es mas ancho de lo que demuestra la planta y las a de maciçar con la mezcla de cal dicha y reposada y de piedra de las canteras de San Ysidro y a de recivir toda la piedra que saliere de los redinos dejandolas a nivel del suelo o lladero cuatro dedos mas baxas para el asiento de sillares y para elijir la mampostería. (AHP Nº 10.849)

Una vez abiertas la zanjas, se macizarán con una mezcla de piedra de la cantera de S. Isidro y cal hasta llegar a una altura de 4 dedos por debajo del nivel del suelo, punto a partir del cual se asentarán los sillares que conformarán el zócalo, en su tratado añade alguna indicación sobre el modo de rellenar estas zanjas

> La primera hilada o mampuesta, se ha de echar sin cal, asentándola en seco sobre la tierra; mas si se asienta sobre sarmientos, se asentará con cal, y bien bañadas las piedras, se irá echando hiladas hasta enrasar, teniendo cuidado con que vaya bien trabado, que aunque en la tierra quede empotrado el cimiento, con todo eso no pierde por el cuidado. Sino ay otra piedra fino guixarro, el primer lecho se asentará como en lo pasado, y los demas echarás desde arriba cal y guixarro en abundancia, con mucha agua, y de en cuando en cuando baxará gente con pisones, y lo irá pisando, y desta suerte se hazen los edificios Romanos, y asi quedará el edificio macizo, y fuerte, mas advertir, que en los cimientos que ansi se macizaren, que no se han de cargar luego, sino que han de reposar algun tiempo, segun el Maestro pareciere, y segun el grueso de la obra pidiere. El que se macizare con piedra gruesa, se puede cargar luego, aunque tambien ha de llevar abundancia de agua. (San Nicolás, 1639)

Rellenas las zanjas de cimentación, se procederá a sentar los sillares de piedra Berroqueña de media vara de lecho (1 pie y medio, 42 cm) y media vara de alto y sobre ellos se levantarán los muros de mampostería según las condiciones que a continuación se detallan

> que en el patio y patinejo a de sentar un sillar alrededor de media vara de lecho y media vara de alto y a esta altura, an de quedar todos los cimientos advirtiendo que en el paño de la cavallerica los que caen de ellos a de labrar por de fuera con piedra pedernal de la margen y por de dentro como los de demas los a de enrasar y enrasados todos a nivel (AHP Nº 10.849).

Paredes

Tal y como era costumbre en dicha época, como se ha podido observar en otros documentos trascritos, se distinguían las paredes en paredes gruesas y paredes delgadas, siendo las primeras los muros de fachada y muros a patios así como cítaras entramadas y los tabiques los elementos de división vertical más delgados y por lo general entramados. El proceso constructivo a seguir para levantar las tapias precedía a este conjunto de paredes y por lo general sigue a las condiciones de construcción de las zanjas de cimentación

Tapias

Se refiere a las tapias que habrán de realizarse delimitando el patio de dicho solar diferenciando según el material en ellas empleado, empedrado o ladrillo tosco y si son de arena deberán ir aceradas con cal por fuera y el acabado de jarro (jaharrados) y blanqueo y refiriéndose como era habitual por medidas superficiales de 50 pies cuadrados que era el parámetro de referencia a la hora de presupuestar el trabajo, esto es, una *tapia real* cuyas medidas eran 3 pies de ancho (84cm), 5 pies de alto (1.40 m) y 10 pies de longitud. La también utilizada *tapia común* era de menor altura, 3 pies (84cm), aunque en esta obra no se menciona.

> Que toda la tierra que hubiere buena para tapias de tierra así en las çanjas como en otras partes se a de juntar en el patio principal y en el de la cavallerica y las tapias que salieren a dicho patio todas an de ser azeradas con cal por de fuera y para defensa del agua mezcladas a dos de arena y a dos de arena una de cal bien reposada y faltando tierra se a de traer por quenta del dicho Señor Don Juan Henríquez del Prado u de donde lo hubiere mas zerca (AHP Nº 10.849).

Para esta obra se indica que la mezcla será dos de arena y una de cal, sin embargo en el tratado se añaden otras:

> si la arena es de río, se echará a dos de arena una de cal, por la falta de jugo que tiene; y si es la arena de mina, echarás a cinco de arena dos de cal, echando una vez dos de arena, y una de cal; y otra vez tres de arena y una de cal, mezcla que de ordinario se haze en Madrid.

Muros de fachada de mampostería con verdugos y pilares de ladrillo

Fray Lorenzo en su tratado distingue cuatro géneros de muros: de cantería, de mampostería con pilares de

ladrillo, todo de ladrillo y de pilares de ladrillo con tapias de tierra. En la figura 1 se muestra una casa construida en 1626 con zócalo de cantería y muro todo de ladrillo. La casa que nos ocupa se refiere al segundo caso, mampostería con pilares de ladrillo

> También se hace mampostería con pilares de ladrillo, y fuera de ser fuerte, es muy vistoso, labrando pilares a trechos por una misma altura, y el caxon, o historia que nosotros llamamos, hacen de mampostería, como está dicho, y encima de cada altura se echan dos hiladas de ladrillo, que comunmente llaman verdugos, y estos hacen mas fuerte la obra: porque como el pilar es distinto cuerpo de la mampostería, estas hiladas hacen que sea todo un cuerpo, trabajando uno con otro.. .Comunmente la altura de estos pilares ha de ser de 3 pies. (San Nicolás, 1639).

En el contrato de obra se especifica que los muros de fachada se realizarán con verdugos y pilares de albañilería de ladrillo colorado por fuera y rosado por dentro con mezcla de cal de dos pies y un cuarto de grueso (63 cm) hasta alcanzar una altura de 15 pies (4.20 m) y con un retranqueo o releje a nivel de forjado de un cuarto de pie (7 cm) por la parte interior

> que sentados los suelos a de tornar de lejos toda la obra de Albañilería verdugos y pilares de dos pies y cuarto de grueso relejando el cuarto de pie en la parte del adentro y proseguirlo hasta quince pies de alto eligiendo todas las puertas y ventanas que muestra la planta en lo baxo y alto de todo el edificio dentro y fuera.Y encima a de elegir verdugos y pilares advirtiendo que el Patio y Patinejo y lo que falta de elegir en la calle todo a de ser de albañilería recibiendo por su valor el ladrillo que hubiere salido de los derribos. (AHP Nº 10.869).

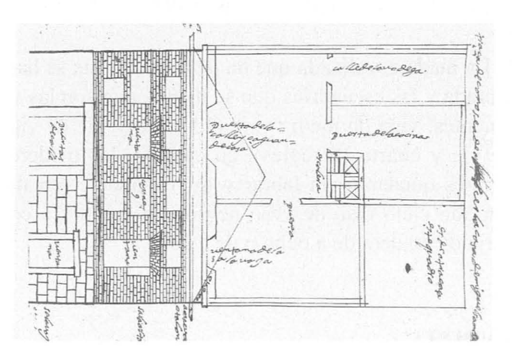


Figura 6
Construcción de una casa en Madrid en 1626. (Archivo Histórico de Protocolos N º 38.028)

Sobre la apertura de huecos en las paredes exteriores, muros de fachada y muros a patios, se pronuncia igualmente mencionando las escuadrías de madera que han de tener los elementos leñosos horizontales colocados en los umbrales para salvar los huecos:

> Que sentara cada pie de umbral de viga de quarta y sesma tosco en las bentanas por precio de dos reales. de madera de a ocho por precio de dos reales y medio. Que sentare cada nudillo de madera de a ocho de dos pies de largo por precio quatro reales y si fuere la madera del dicho Señor Don Juan por prezio de dos reales de manos de yeso . . . que sentara cada pie de tercia y quarta tosco en umbrales por precio de quatro Reales y medio . . . (AHP Nº 10.869).

Las obras a realizar para la apertura de huecos, puertas y ventanas, se refieren como sigue

> Que la puerta que hoy sale al patio se a de maçiçar con cascote y yeso porque sea de elegir mas adelante dicha puerta y este hueco a de tener dos pies y medio de grueso y el resto hasta el rincon por no tener mas que dos pies se le a de recibir el medio que le falta de yeso y cascote bien picado y estregado primero.
>
> Que en la delantera de las casas acesorias se a de labrar de arbañilería como esta dicho eligiendo las ventanas que muestra la planta y si pareziere al dicho Sr. D. Juan se haya puerta que salga a la calle se puede elegir enfrente de la puerta que entra del patio a la cavallerica y así mismo se a de mudar la portada de piedra y los lados de a donde oi esta elegirlos de albañilería dejando ventana como las demas (AHP Nº 10.869).

Cítaras de soga entramada y sin entramar

Sobre esa primera altura se levantará la cítara de soga entramada con cal de dos pies y medio: «Que ara cada pie lineal de citara de soga por precio de Real y medio . . . la citara de soga con cal y lo demas con yeso».

> Que el salon alto se compone de una zítara a la parte de la calle y un tabique dentro. Esta dicho lo que diçe su apoyo y el tabique y forma de pared. La citara nezessita mas cuerpo y esta se a de acompañar y crezer echando solera abaxo y carrera arriva de quarta y sesma labrada y nudillos que abrazen solera y lo que se anide y pies derechos y puentes en las bentanas y riostras dando de grueso a esta pared todo el largo de la calle de dos pies y medio porque defienda en berano del mediodía y lo mismo a de

ser la pared que cay al oriente por su defensa ase de maçiçar el pie y medio de dicha citara de yeso y cascote echando gatos que una uno con otro baxando lo que le toca a dicha citara. Que cada pie que sentare de terçia y quarta labrado en pies derechos çapatas o carreras por preçio de cinco reales y medio (AHP Nº 10.849).

La otra cítara se realizará sin entramar, será de pie y medio y se macizará toda ella de yeso y cascote con gatos que la unan de una parte a la otra y «si fuere citara sin entramado de madera por precio de dos reales y medio». También se reflejan algunas indicaciones para la chimenea: «que ara cada pie de chimenea rematada dentro y fuera por precio de real y medio. Que mas ara cada pie de anaquel rematado de yeso blanco a real y tres quartillos».

Paredes delgadas o tabiques

Los tabiques serán entramados con maderos de a 8 y maderos de a 6 a los precios fijados, «ara cada pie de tabique en forja de madera de a seis por preçio de Real y quartillo. Que ara cada pie de tabique de forxa de madera de a ocho por precio de treinta y seis maravedíes» (AHP Nº 10.849).

Forjados

Levantada la obra de albañilería, como se ha mencionado, de pilares, verdugos y tapias, se sentarán los nudillos de dos pies de largo (54cm) de madera de a ocho sobre los que apoyará la solera de cuarta y sesma y por el exterior se realizará una imposta corrida con 4 hiladas de albañilería y dos dedos de relieve rellenando el entrevigado con yeso y cascote.

> que enrasada toda la obra de berdugos tapias y pilares de albañilería sentara nudillos de madera de a ocho de la madera de la casa de dos pies de largo a nibel y encima soleras de quarta y sesma labradas todo a nibel con los suelos dichos aprovechando con quenta toda la madera que pudiere de los derribos asi en soleras como en los suelos quadrados lo qual se le a de pagar de labor menor y yeso a nivel de dichos suelos y a de correr ymposta de alto de quatro yladas de albañilería con dos dedos de relieve en lo descubierto de los patios y los entrebigados an de ser de buen yeso y cascote que es lo que corresponde a dichas ympostas. (AHP Nº 10.849).

El resto de las escuadrías utilizadas en la obra y que se mencionan son las siguientes: a) estribos de madera de a 8 sentado en caxas, b) estribos de medias viguetas aserradizas, c) tablazón de medias viguetas aserradicas y de madera de a 8 y d) maderas de a 8 labradas.

Forjados de madera con bovedilla y yeso negro

Dadas las dimensiones tan variadas de forjados a cubrir en esta obra, se emplearán prácticamente todas las escuadrías por entonces utilizadas, esto es vigueta de a 22, cuarta y sesma, vigueta de tercia y cuarta, maderos de a ocho y maderos de a 6, todos ellos se realizarán con bovedilla rematada de yeso negro, y para todos ellos se fijan precios y condiciones como sigue

> . . . que sentara cada bigueta de a veinte y dos con su bobedilla rematada de yeso negro por precio de cinquenta y dos Reales y si fuere del señor D. Juan por precio de veinte y quatro reales esto es si no tubiere qué labrar. que sentara cada pie de vigueta de tercia y quarta con su bobedilla rematada de yeso negro por precio de cinco Reales y tres quartillos. Que sentara cada madero de a ocho con su bobedilla rematada de yeso negro por recio de veinte y ocho Reales y si fuere del señor D. Juan por precio de diez y seis Reales esto es no tuviendo que labrar. Que sentara cada madero de a seis con su bovedilla rematada de yeso negro por precio de veinte y ocho Reales y si fuere del Sr. D. Juan por precio de diez y ocho reales como no tenga que labrar. Que ara cada pie de quarta y sesma con su bobedilla rematada de yeso negro por dos Reales y tres quartillos. Que ara cada pie de madera de a ocho con su bobedilla rematada de yeso negro por dos Reales y un quartillo . . . (AHP Nº 10.849).

La madera utilizada que ha de quedar vista se hará labrada y las escuadrías que se mencionan son las siguientes: viga de media vara (13 reales), pie de viga de pie y cuarto (8 reales), en cambio, los maderos ocultos quedarán sin labrar y los forjado se rematarán con cielo raso de yeso negro con listones o con forja de madera de a ocho o de a 10.

Cubierta

Fray Lorenzo en su tratado dedica cuatro capítulos al uso de la madera y al trazado de las armaduras (cap.

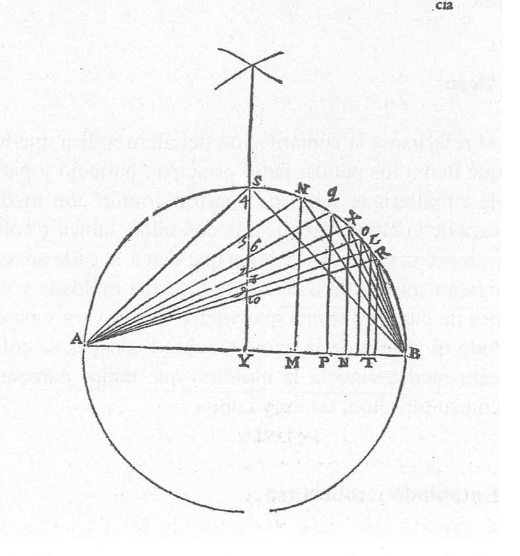
XLVI-XLIX); explica los distintos tipos de estructuras de cubierta y a ellos se refiere en los dibujos que acompañan el tratado y que se muestran en las figuras 7 y 8: de molinera (comúnmente a un agua), de pared, y de tijera (fuerte y de poco empuje) también introduce los conceptos de estribos, aguilones, cuadrales, embarbillado despatillado que mencionamos a continuación. Sobre el trazado de las armaduras (cap.XLVII. Trata de qué suerte se han de trazar las armaduras, y cuantas diferencias hay en ellas: «la diferencia de las armaduras son tantas cuántas el artífice quisiere usar en sus edificios: porque como sólo se diferencian en más, o menos bajas, por esa causa pueden ser muchas. Comunmente, nosotros usamos de dos, o tres, más yo haré demostración de ocho (. . .)».

El documento estudiado detalla así mismo la construcción de la cubierta y a ella se refiere en los aspectos que siguen: desmontaje de la antigua cubierta y construcción de la nueva: armadura buhardillas, alero, entablado y materiales de cobertura. Antes de retirar la cubierta de la obra antigua deberán quedar ambas enrasadas a la altura mencionada de 15 pies (4.20m,) nivel al que se sentará el primer suelo de la nueva construcción,

> Que las armaduras del quarto de la Calle de San Miguel y el quarto que arrima a las niñas no se an de destejar ni quitar las armaduras hasta que todo lo que nuevamente se elije este enrasado hasta el primer suelo sin sentar su madera porque estando en este estado se quiten las armaduras de dichos dos quartos y de ellos se elijan sus paredes hasta enrasar su altura de los quince pies y se asienten soleras y suelos quadrados y sus armaduras y se deje en el ynterin que esto se haze descansa lo nuevamente elejido se asientan sus suelos de madera y prosigue hasta enrasar con su altura. Se ba cubriendo sobre sus suelos quadrados haziendo sus armaduras con la mayor seguridad que la obra pide dejando las boardas neçesarias asi en las dos calles como en la parte de adentro para el serviçio de luz de los desbanes. (AHP Nº 10.849)

En este punto se comenzará a retirar la cubierta de la parte antigua, en el documento se detalla: su orden de construcción, su apilamiento de materiales, su aprovechamiento y el destino de los materiales que no se reutilicen. De esta forma se indica la utilización posterior de la teja, el entablado, los maderos y los clavos primitivos.

> que a de desazer todo aquello que sean de en dicha planta enpeçando a quitar la teja la qual se puede poner en el patio de las cavallericas y a de quitar toda la madera así de las armaduras como de los suelos quadrados todo lo que es tabla se puede poner sobre los sotanos y todo lo que es madera y cascote porque no se moje en los sótanos y todo el ladrillo de los solados también en los sotanos adbirtiendo que la tabla se a de poner guadrapeada lo que pudiere servir y la madera se a de poner cada genero de por sí asi biquetas como madera de a seis madera de a ocho y madera de a diez y los clavos a de entregar cada día al que asistiere al recivo de los materiales y la madera que no pudiere servir en la obra la a de poner aparte para que por su justo valor se entregue al dicho Francisco Aspurg para cozer ornos de yeso. (AHP Nº 10.849)



ARTE, Y VSO

tomas la diſtancia.O.B.que mide ocho vezes la circunferencia. Para traçar la del cartabon, ò armadura de a nueue, mira la diſtancia que ay del punto .X. al punto .O. y otro tanto baxa del punto .O. àzia el punto .B. que ſerà en el punto .L. y dèl tira la linea .A.L. y en el tocamiento que haze en la .S.Y. en el punto nueue, denota el cartabon; ò armadura de a nueue; y aſsi hallaràs, ſi tomas la diſtancia .L. B. que mide nueue vezes a la circunferencia. El armadura, ò cartabon de a diez, ſe traça tomando la diſtancia

Figura 7
San Nicolás (1639). Tipos de armaduras

Armadura

Las escuadrías utilizadas en la realización de la armadura son: a) estribos: vigueta de cuarta y sesma y estos como es costumbre se sentarán «a cola», b) vigueta de cuarta y sesma, c) viguetas que pasan de

23 pies, d) Maderos de a 10 doblados, e) maderos de a 8, f) estribos de madera de a 8. También se realizarán «boardas ordinarias de tres de ancho y siete de alto con sus tabiques por ciento y ochenta reales» y sobre ellas se indica: «que ara cada boarda en blanco con sus correas y talon en las puntas y cobija».

Alero

Al referirse a la construcción del alero indica que los que dan a los patios: patio principal, patinejo y patio de caballerizas serán de cuartón común con media vara de vuelo y se realizarán con talón, tabica y cobija sobre madera de a 8 y los que dan a la calle se realizarán sobre solera de cuarta y sesma moldada y canes de cuarta y sesma que vuelen media vara y pasen todo el grueso de la pared y sobre los canes se colocará media vigueta la moldura que mejor pareciere con su tocadura, tabica y cobija

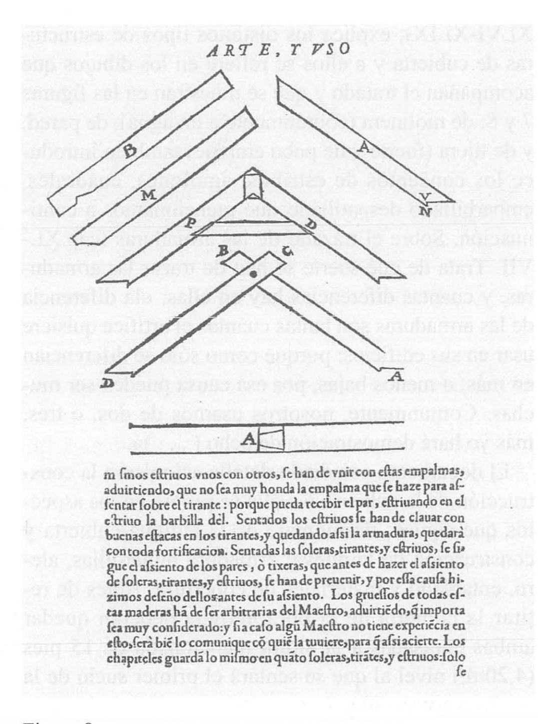
Entablado y cobertura

Sobre la armadura se colocará el entablado clavado y distingue en su precio de puesta en obra según los tramos sean de tabla de la casa sobre armadura de a 10 (8 reales el tramo), sobre armadura de a 8 (10 reales cada tramo), de a 6 (12 reales cada tramo) y vigueta (14 reales) o si es tabla de carreta (2,5 reales). Sobre el entablado se sentarán tejas de la casa (4 maravedíes) y si es nueva de San Martín (12 maravedíes), perdidos los caballetes y respaldares. Los tejados se harán a lomo cerrado.

Condiciones de la obra

Las trazas de las casas son, como se ha comentado, obra de Fray Lorenzo de S. Nicolás y a él se refiere lo siguiente

> Primeramente con condicion que en todo guardara el dicho Francisco de Aspurg la planta echa por el Padre Fray Laurencio de San Nicolas sin añadir ni quitar si no es que sea de orden del dichos Señor Don Juan Henríquez y si lo contrario hiciere a de ser a su costa sin que por ello aya de haver ninguna paga (AHP Nº 10.849).


ARTE, Y VSO

m ſmos eſtriuos vnos con otros, ſe han de vnir con eſtas empalmas, aduirtiendo, que no ſea muy honda la empalma que ſe haze para aſſentar ſobre el tirante : porque pueda recibir el par, eſtriuando en el eſtriuo la barbilla dèl. Sentados los eſtriuos ſe han de clauar con buenas eſtacas en los tirantes, y quedando aſsi la armadura, quedarà con toda fortificacion. Sentadas las ſoleras, tirantes, y eſtriuos, ſe ſigue el aſsiento de los pares, ò tixeras, que antes de hazer el aſsiento de ſoleras, tirantes, y eſtriuos, ſe han de preuenir, y por eſſa cauſa hizimos deſeño dellos antes de ſu aſsiento. Los grueſſos de todas eſtas maderas hã de ſer arbitrarias del Maeſtro, aduirtiẽdo, q̃ importa ſea muy conſiderado: y ſi a caſo algũ Maeſtro no tiene experiẽcia en eſto, ſerà biẽ lo comunique cọ quiẽ la tuuiere, para q̃ aſsi acierte. Los chapiteles guardã lo miſmo en quãto ſoleras, tirãtes, y eſtriuos: ſolo ſe

Figura 8
San Nicolás (1639). Trazado de armaduras de madera

Las condiciones que han de cumplir en la obra las distintas partes afectadas en ella quedan claramente expuestas en las hojas finales del documento y así aparecen firmadas tal y como se muestra en la figura 9. Dada su extensión, se han seleccionado en las siguientes líneas los aspectos más relevantes

> . . . Y el dicho señor D. Juan Henríquez de Guzman se obliga que luego que el dicho Francico de Aspurg empieçe la obra de las dichas casas le dara y pagara por quenta de lo que ymportare quatro mill ducados de a onze Reales en moneda de vellon de que el dicho Francisco de Aspurg le a de dar recivos al tiempo y quando se los entregare y conforme fuere continuando en la dicha obra le yra socorriendo con las cantidades neçesarias para la prosecuçion de ella de todas las quales queda obligado el dicho Francisco de Aspurg. Y se obliga de dar recivos de ellas para que siempre conste las cantidades que tiene percividas por quenta de las que debengare igual y es pacto y condicion expressa de esta escritura que cada y quando que el dicho señor D. Juan Henríquez gustare que se haga abanço de la dicha obra para que se

sepa lo que en el la tiene debengado el dicho Francisco de Aspurg.

Percivido y cobrado del dicho Sr. D. Juan Henríquez lo a de poder haçer su señoria y para este efecto se an de nombrar dos maestros de obras por cada parte el suyo para que puedan hacer y agan el dicho abanço igual y el dicho Francisco de Aspurg. Se obliga de hacer la obra de las dichas casas conforme a la planta echa por el dicho Padre Fray Laurencio de San Nicolas y a los precios y con las calidades y condiçiones contenidos en esta escritura . . . (AHP Nº 10.869).

A lo largo de todo el documento tanto en las aclaraciones que se realizan al explicar el procedimiento constructivo como al dar precios y condiciones de los materiales empleados en la obra, se refieren a ello distinguiendo entre la parte antigua tanto a conservar como a modificar y junto a ella los materiales procedentes del derribo, así como los materiales nuevos recibidos en la obra. Éstos últimos deberán responder a las condiciones reflejadas en este contrato y se refiere así

Es condicion que los materiales que gastare en dicha obra a de ser de toda satisfacion la madera de Corral. La cal mezclada con tiempo a dos espuertas de cal cinco de arena, el yesso sin mezcla de tierra si no es en el estriego de las tapias. El ladrillo por de dentro rossado y por de fuera colorado. La texa de San Martín de la Vega. el Ladrillo del solar de Aranjuez, solado con barro. La tabla a de ser de Carreta. (AHP Nº 10.849)

Dado que se va a proceder al derribo de parte de la construcción existente y se va a realizar otra parte nueva, también se menciona el aprovechamiento de dichos materiales de derribo

Que todos los materiales que prozedieren de dicho derribo los a de aprovechar el dicho Francisco de Aspurg en dicha obra en la parte que mas combenga reciviendo por quenta todo lo que hubiere yr gastando para que a su tiempo con la memoria que de ello hubiere se le pague labor manos de asiento y de yeso y si el dicho señor D. Juan quisiere hazer abanco de lo que estubiere edificado se an de nombrar para ello dos maestros de obras por cada parte el suyo . . .

Con Condicion que el dicho Francisco de Aspurg a de aprovechar los materiales que salieren de los derribos pagandome de manos de yesso su balor haziendo todos la jaarros a regla y cordeles como es costumbre y los texados a lomo zerrado. (AHP Nº 10.849)

Figura 9
Última hoja del documento. Archivo Histórico de Protocolos Nº 10.849

Lista de referencias

Archivo Histórico de Protocolos Nº 10.849. Trascripción de la escritura de la obra de las casas de D. Juan Henríquez de Guzmán en la C/ San Miguel, 1669, firmada por el propietario D. Juan Henríquez y el Maestro de obras y Alarife de la Villa de Madrid, D. Francisco de Aspur siguiendo las trazas realizadas por Fray Lorenzo de S. Nicolás.

San Nicolás, Fray Lorenzo de. 1639. *Arte y Uso de Arquitectura*. Primera parte. Madrid: s.i. (facs. Ed. Madrid: Albatros, 1989).


MINISTERIO
DE FOMENTO
CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS
CEHOPU
CENTRO DE ESTUDIOS HISTÓRICOS
DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO


ISBN 978-84-7790-446-5
9 788477 904465